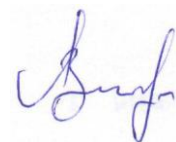


На правах рукописи



ВЕРЕВКИН АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВАРКИ В CO₂ НЕПОВОРОТНЫХ
СТЫКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ЗА СЧЕТ
ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ**

Специальность 05.02.10 - Сварка, родственные процессы и технологии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул - 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

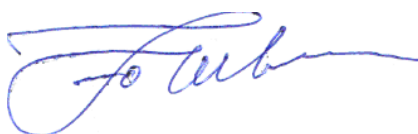
Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент Князьков Анатолий Федорович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Смирнов Александр Николаевич кандидат технических наук Маньковский Сергей Александрович
Ведущая организация	ОАО «Центрсибнефтепровод» г. Томск

Защита состоится «24» декабря 2010г. в 10 час. 00 мин. на заседании
диссертационного совета Д 212.004.01 при ГОУ ВПО «Алтайский
государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу:
656038, г.Барнаул, пр. Ленина, 46.
тел./факс (3852) 290-764, e-mail: yuoshevtsov@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке
ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»

Автореферат разослан « » ноября 2010г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ю.О. Шевцов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Возросшие масштабы строительства и ремонта трубопроводного транспорта, нефте-газопроводов, большая их протяженность, требуют высокого темпа прокладки при их сооружении. Однако в настоящее время в России и за рубежом ресурсы повышения производительности процессов ручной дуговой сварки трубопроводов практически исчерпаны, и следующий этап развития будет основываться только на механизации и автоматизации сварки неповоротных стыков. Основной проблемой при этом является изменяющееся пространственное положение сварочной ванны.

Среди дуговых способов автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов, методы сварки в среде защитных газов и порошковой проволокой получили наибольшее распространение. Однако эти методы сварки фактически разрабатывались для сварки в нижнем положении, и не учитывали непрерывного изменения пространственного положения сварочной ванны, а также характер движения расплавленного металла в сварочной ванне. Для дальнейшего повышения качества автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов необходимо разработать такой способ сварки, который обеспечивал бы управляемый перенос электродного металла, и хорошее формирование шва в различных пространственных положениях. При этом, в процессе сварки ток и скорость сварки должны оставаться неизменными, для того чтобы сечение шва по длине оставалось постоянным, и тем самым исключить наложение корректирующих швов.

Импульсные методы управления процессом сварки позволяют решить следующие технологические проблемы:

- управляемый и направленный перенос электродного металла;
- возможность выполнения сварки во всех пространственных положениях;
- уменьшение потерь на угар и разбрызгивание.

Поэтому создание устройств, повышающих эффективность сварки за счет импульсного управления процессом сварки, является перспективным направлением.

В соответствии с этим в диссертационной работе проведены исследования по разработке технологии и устройств, повышающих эффективность автоматической сварки в среде углекислого газа плавящимся электродом с импульсным питанием дуги.

Цель работы. Повышение производительности сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения сварки с импульсным питанием сварочной дуги в CO_2 .

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ комплекса сил действующих на сварочную ванну при импульсном питании сварочной дуги, определить условия и пути удержания сварочной ванны в различных пространственных положениях.
2. Определить характер движения металла в сварочной ванне при импульсном питании и разработать модель его движения.
3. Исследовать влияние длительности импульсов и угла наклона электрода на геометрию наплавленных валиков при импульсном питании дуги.
4. Разработать технические средства реализации процесса сварки с импульсным питанием дуги.
5. Разработать технологические рекомендации.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы обсуждались и получили одобрение на научных семинарах кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» (НИ ТПУ, г. Томск) в 2001–2010 годах, на расширенном научно-техническом семинаре кафедры «Технология машиностроения» (КузГТУ, г. Кемерово в 2010), а также были доложены на следующих конференциях: Международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии на рубеже веков» (г. Пенза, 2000), IX-XIV Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (ТПУ, г. Томск, 2003-2008), Международной конференции «Современные проблемы машиностроения и приборостроения» (ТПУ, г. Томск, 2003).

Научная новизна:

1. Установлено, что сварочная ванна при импульсном питании дуги, движется по экспоненциальной зависимости, скорость ее движения в хвостовую часть 320 мм/сек, в головную часть 840 мм/сек.
2. Установлено, что для обеспечения постоянного размера переносимых капель электродного металла, необходимо дозировать энергию, вводимую в импульсе, после отрыва капли.
3. Для уменьшения разбрызгивания при возникновении случайных коротких замыканий в процессе сварки, или при коротком замыкании в момент зажигания дуги, предложено ограничивать длительность импульсов до минимального значения - 2,5мс.

4. В результате проведенных экспериментов установлено, что для обеспечения динамической стабилизации сварочной ванны во всех пространственных положениях необходимо использовать критериальный параметр в виде обратной связи по скорости изменения напряжения на дуге (dU/dt) на интервале паузы.

5. Экспериментально доказано, что при импульсном питании дуги с дозированием энергии на расплавление каждой последующей капли, возможно удерживать сварочную ванну в различных пространственных положениях, не изменяя режимов сварки.

Методы исследований. При экспериментальных исследованиях производилось осциллографирование современными электронными осциллографами, скоростная киносъемка камерой СКС-1М, а также регистрация электрических сигналов мобильным регистратором технологических процессов сварки MPC-02м. Анализ результатов проводился с использованием пакетов прикладных компьютерных программ ТЭЛМА-регистратор, Microsoft Excel. Для металлографического исследования структуры применяли: оптические микроскопы МИМ-8М, ZEISS AXIO Observer.A1m со встроенной фотокамерой и ZEISS Axiovert 40 MAT, цифровые фотоаппараты PShot RS-2120, Canon A610. Механические испытания проводились по стандартным методикам.

Практическая ценность:

1. Разработано, запатентовано и внедрено устройство для дозирования энергии.

2. Разработано и запатентовано устройство для ограничения тока короткого замыкания.

3. Даны технологические рекомендации по выбору параметров режимов сварки при импульсном питании дуги в CO_2 .

Реализация результатов работы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при создании импульсного модулятора сварочного тока типа ИРС-1200АДП, предназначенного для механизированной и автоматической сварки плавящимся электродом длинной дугой в среде инертных, активных газов, их смесях, порошковыми проволоками и проволоками сплошного сечения.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе одна статья из списка, рекомендованного ВАК, два патента на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения, списка литературы и

приложений. Работа выполнена на 141 странице, содержит 59 рисунков, 5 таблиц, 4 страницы приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, кратко изложено ее содержание, сформулированы научная новизна и практическая ценность.

В первой главе представлен анализ проблемы сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов. На основании работ Н.Г. Дюргерова, И.И. Зарубы, А.И. Акулова, А.Г. Потапьевского, И.К. Походни, А.Г. Мазеля, А.Ф. Князькова, А.С. Фалькевича, В.Д. Тарана, Ф.А. Вагнера, С.И. Полоскова, и других исследователей проведен анализ основных способов сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов и рассмотрен опыт их применения. Проведенный анализ позволяет констатировать следующее.

Контактные способы сварки не смогут найти распространения в основном из-за больших габаритов и веса, значительной потребляемой электрической мощности, нестабильного качества и низкой пластичности сварных соединений и большой вероятности появления дефектов.

Дуговые методы сварки (ручная дуговая сварка, механизированная сварка плавящимся электродом в защитных газах) более мобильны, но для сварки неповоротных стыков требуются высококвалифицированные узкоспециализированные сварщики. К тому же, большую роль будет играть субъективный фактор.

В связи с этим решение проблемы сварки неповоротных стыков труб возможно только за счет автоматизации процесса сварки, для исключения субъективных факторов, и адаптации процесса сварки для сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов. Для того, чтобы производить автоматическую сварку неповоротных стыков необходимо обеспечить направленный перенос электродного металла в сварочную ванну и удержание ванны расплавленного металла в положениях отличных от нижнего. Кроме этого, при автоматизации процесса сварки неповоротных стыков трубопроводов необходимо учитывать непрерывное изменение пространственного положения сварочной ванны, что является основным возмущением при сварке. Ранее разработанные способы сварки не учитывали эту особенность и не могли активно влиять на удержание сварочной ванны и перенос электродного металла в положениях отличных от нижнего. Анализ рассмотренных методов автоматизации сварки неповоротных стыков трубопроводов показывает, что при автоматизации сварки неповоротных стыков обычными способами сварки (которые по

существу разрабатывались для сварки в нижнем положении) возникают трудности с формированием и удержанием сварочной ванны в различных пространственных положениях.

Разработанные на кафедре «Оборудование и технология сварочного производства» ТПУ способы импульсного питания, позволяют говорить о перспективности автоматизации сварки неповоротных стыков на базе импульсного питания сварочной дуги с плавящимся электродом в защитных газах. Такой процесс свободно программируется, либо управляется автоматически при помощи обратных связей.

Во второй главе проведен анализ комплекса сил действующих на

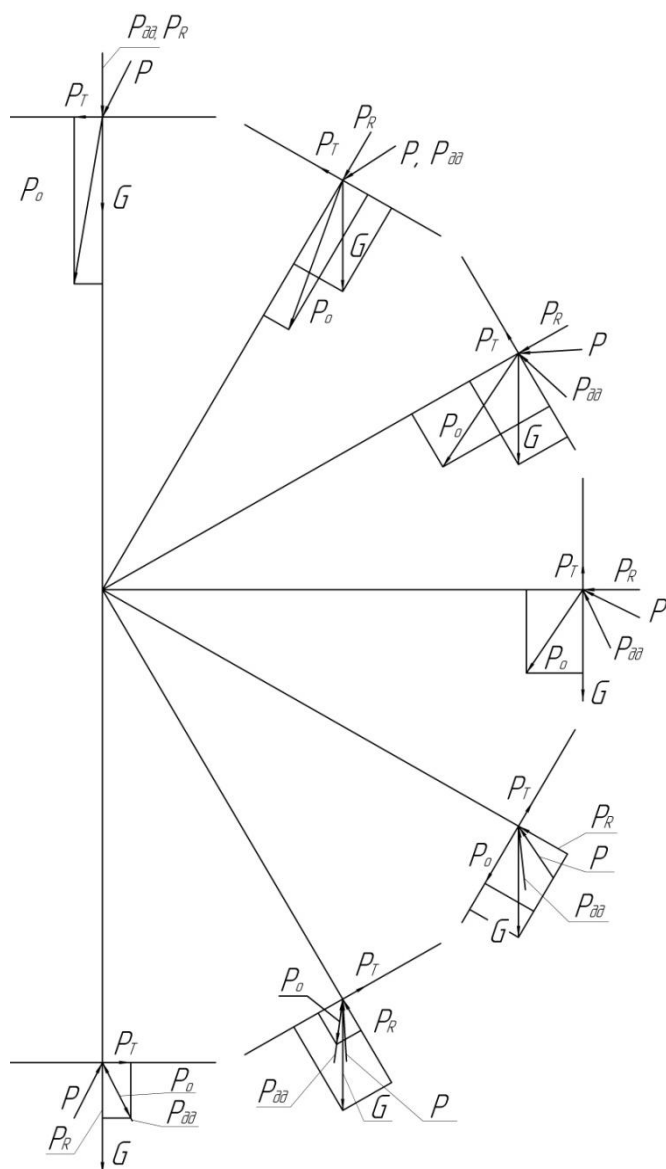


Рис. 1 Комплекс сил в разных пространственных положениях:

P – сила поверхностного натяжения (P_T , P_R соответственно тангенциальная и нормальная составляющие);

G – вес сварочной ванны;

P_0 – равнодействующая сила

сварочную ванну при изменяющемся пространственном положении. В процессе сварки сварочная ванна находится под действием комплекса сил: поверхностного натяжения, веса сварочной ванны, силового воздействия дуги. Величины этих сил зависят от многих параметров: способа сварки, режима сварки, сварочных материалов, и т.д. При сварке в каком-либо фиксированном пространственном положении затруднений с формированием шва не возникает, так как режим сварки подбирается таким образом, чтобы сварочная ванна находилась в равновесии под действием приложенных к ней сил, обеспечивая качество и максимальную производительность. При сварке неповоротного стыка, когда пространственное положение непрерывно изменяется, для удержания жидкого металла сварочной ванны необходимо корректировать режим сварки. Однако изменение режима сварки

приводит к изменению поперечного сечения сварного шва, при этом высока вероятность образования дефектов в виде несплавов с кромками, а также для заполнения разделки приходится накладывать дополнительные корректирующие швы, что нежелательно.

Предлагаемый способ сварки с импульсным питанием сварочной дуги в среде углекислого газа позволяет при неизменном среднем токе, изменять частоту, длительность и амплитуду импульсов, таким образом, чтобы добиться нормального формирования шва во всех пространственных положениях.

Также для достижения нормального формирования шва можно изменять и направление силового воздействия сварочной дуги, путем изменения угла наклона электрода.

При сварке неповоротных стыков трубопроводов, с постоянным изменением пространственного положения сварочной ванны, изменяется и результирующая этих сил, ее направление и составляющие – нормальная и тангенциальная (рис. 1). Чтобы обеспечить требуемую форму шва необходимо управлять этими силами, и при изменяющихся условиях обеспечить динамическую стабилизацию сварочной ванны.

Для выявления условий равновесия сварочной ванны использовали уравнения равновесия от сил, действующих на ванну рис. 2.

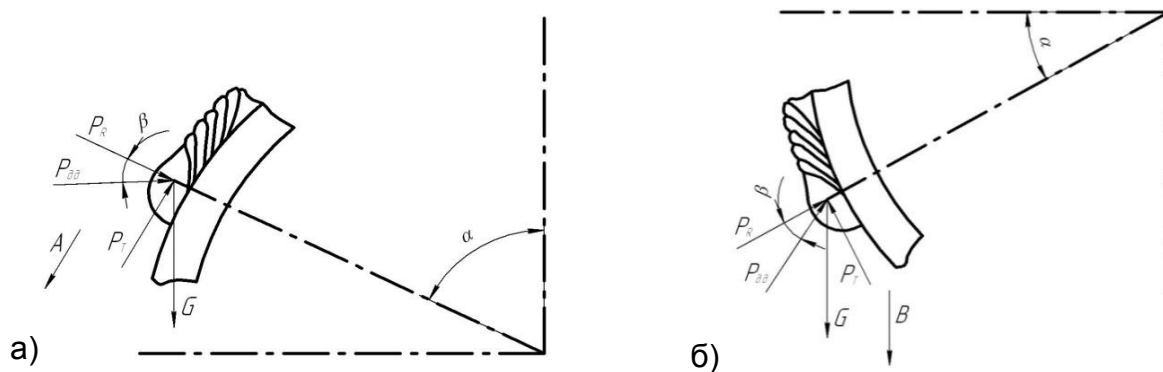


Рис. 2 Схема сил, действующих на сварочную ванну:

а) в положении от 0°-90°; б) в положении от 90°-180°;

P_0 – равнодействующая сила; G – вес сварочной ванны; $P_{д.д.}$ – давление дуги;

P_T , P_R – соответственно тангенциальная и нормальная составляющие силы поверхностного натяжения;

A – направление вытекания металла в положении от 0°-90°;

B – направление вытекания металла в положении от 90°-180°

На участке от 0 до 90 градусов уравнение равновесия будет иметь следующий вид: $G_{\text{с}} \cdot \sin \alpha - P_{\text{н.н.}}^{\tau} - P_{\text{о.д.}} \cdot \sin \beta = 0$ (1)

На участке от 90 до 180 градусов:

$$G_{\text{с}} - P_{\text{н.н.}}^{\tau} \cdot \cos \alpha - P_{\text{н.н.}}^{\text{н}} \cdot \sin \alpha - P_{\text{о.д.}} \cdot \sin(\alpha + \beta) = 0 \quad (2)$$

Угол наклона электрода, необходимый для обеспечения равновесия в зависимости от пространственного положения и величины приложенных сил определяется по формулам (3), (4).

На участке от 0 до 90 градусов: $\beta = \arcsin\left(\frac{G_B \sin \alpha - P_{п.н.}^{\tau}}{P_{д.д.}}\right)$ (3)

На участке от 90 до 180 градусов:

$$\beta = 2 \cdot \arctg\left(\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{G_B - P_{п.н.}^{\tau} \cdot \cos \alpha - P_{п.н.}^n \cdot \sin \alpha}{P_{д.д.}}\right)^2} - \cos \alpha}{\left|\frac{G_B - P_{п.н.}^{\tau} \cdot \cos \alpha - P_{п.н.}^n \cdot \sin \alpha}{P_{д.д.}}\right| + \sin \alpha}\right) \quad (4)$$

В соответствии с формулами (3) и (4), получены зависимости угла наклона электрода от пространственного положения рис. 3, где показано, что в пространственных положениях от 50 до 135 градусов удержать сварочную ванну в равновесии невозможно рис. 3а.

На рис. 3б показано, что при значительном давлении дуги, в положениях близких к вертикальному сварочная ванна будет удерживаться в равновесии. Однако, по мере приближения к потолочному положению угол наклона возрастает, так как компенсировать надо небольшую составляющую равнодействующей силы, которая стремится оторвать ванну, но значительный рост угла наклона электрода в потолочном положении тоже нежелателен, так как металл сварочной ванны будет выдуваться дугой, и будут образовываться натеки.

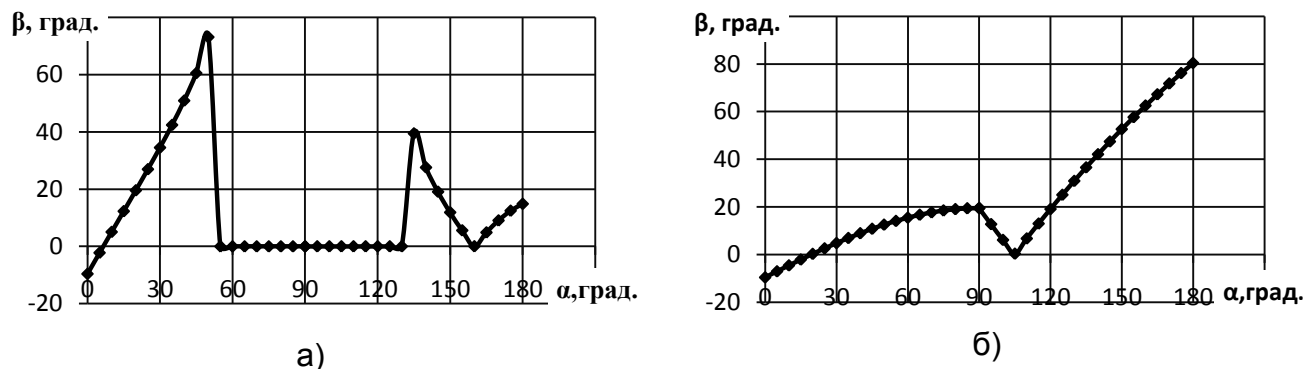


Рис. 3 Зависимость угла наклона электрода от пространственного положения:
а) при нормальном давлении дуги; б) при большом давлении дуги

На основании этого можно заключить, что увеличением давления дуги нельзя добиться хорошего формирования шва. Решается эта проблема за счет динамической стабилизации сварочной ванны, т.е. когда ванна будет совершать колебательные движения относительно центра сварочной ванны при этом воздействовать на ванну необходимо так, чтобы она не могла вытекать ни через головную, ни через хвостовую часть сварочной ванны. Удовлетворить этим требованиям может сварка с импульсным питанием дуги, и обратными связями по состоянию дугового промежутка.

В третьей главе приведена методика и результаты экспериментальных исследований по определению закономерности движения сварочной ванны при импульсном питании.

При сварке напряжение на дуге уменьшается за счет подачи электродной проволоки, и стекания расплавленного металла сварочной ванны под дугу. В различных пространственных положениях ванна с разной скоростью подтекает под дугу, и чтобы исключить вытекание жидкого металла через головную часть сварочной ванны необходимо, чтобы импульс тока включался несколько раньше. Для четкого определения момента включения импульса был введен критериальный параметр, посредством которого обеспечивается стабильный перенос и формирование шва. В качестве критериального параметра была принята скорость изменения напряжения на дуге во время паузы, это позволило фиксировать движение жидкого металла сварочной ванны. Введение обратной связи по скорости изменения напряжения во время паузы дает ряд положительных моментов. Во время паузы протекает небольшой ток 20-50 А, электродная проволока практически не плавится силовое воздействие дуги на сварочную ванну и каплю электродного металла, сформировавшуюся к концу предыдущего импульса минимально. На рис. 4 приведены полученные кинокадры процесса сварки, а на рис. 5 выделены характерные стадии протекания процесса. Из этого можно сделать вывод, что сварочная ванна совершает колебательное движение (возвратно поступательное) вдоль фронта кристаллизации с частотой равной частоте следования импульсов, и находится в динамическом равновесии. Благодаря этому появляется возможность широкого регулирования процессом формирования сварочного шва в различных пространственных положениях за счет изменения длительности и частоты следования импульсов, тем самым, изменяя частоту и амплитуду движения ванны. При этом поперечное сечение шва будет оставаться неизменным, т.к. скорость подачи сварочной проволоки и скорость сварки не изменятся.

Наиболее явно, динамическая стабилизация сварочной ванны наблюдается в полупотолочном положении, т.к. в этом положении будет хорошо виден гребень сварочной ванны. Используя схему измерений, представленную на рис. 6, была получена зависимость движения гребня сварочной ванны в процессе сварки. Из рис. 7 видно, что к концу паузы гребень занимает всегда одно положение (кадр №30) из которого начинается движение металла в хвостовую часть сварочной ванны.

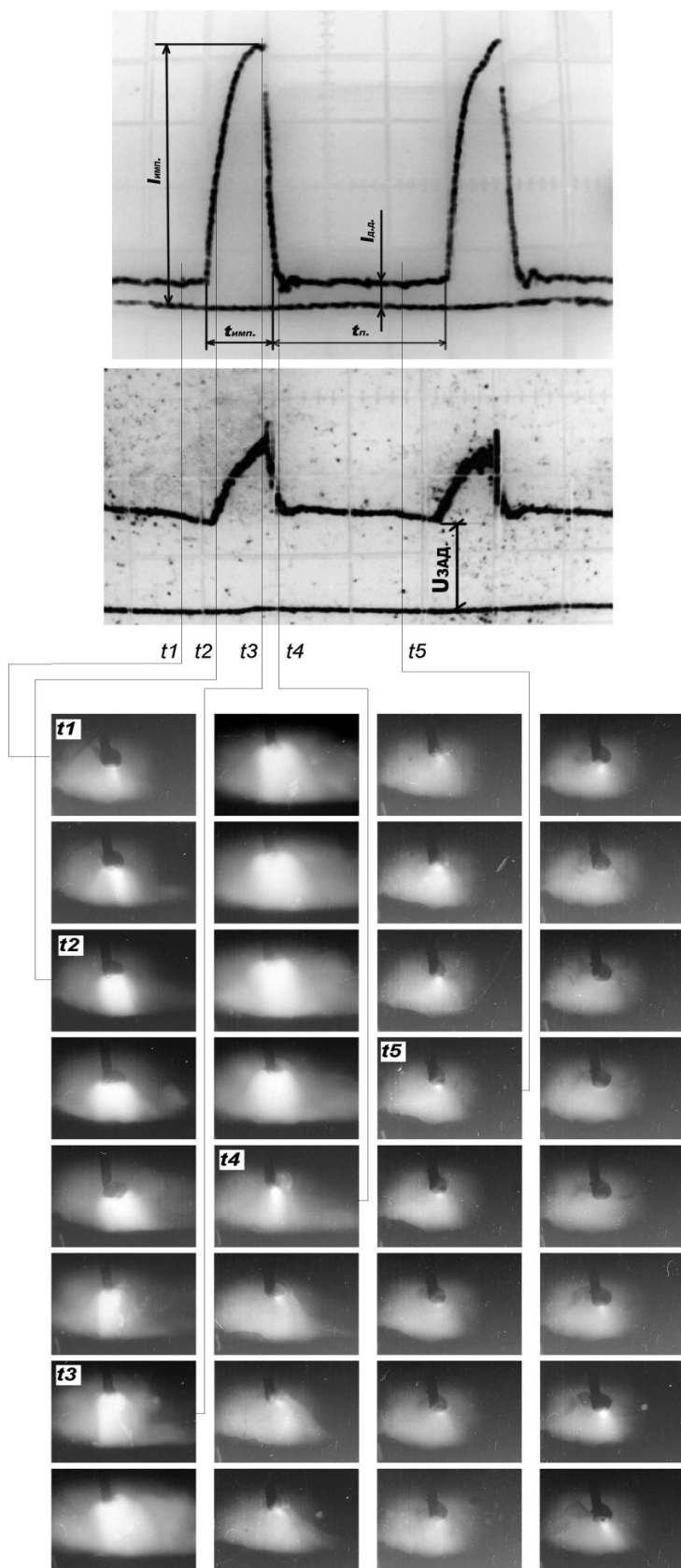
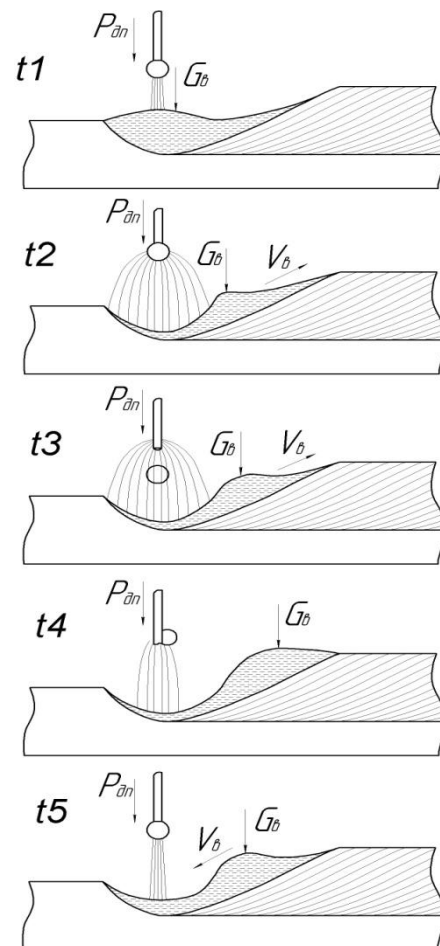


Рис. 4 Кинокадры, совмещенные с осциллограммами процесса сварки в углекислом газе с импульсным питанием дуги



- $t1$ – конец паузы, протекает ток дежурной дуги, капля занимает соосное положение с электродом;
- $t2$ – момент начала включения тока импульса;
- $t3$ – перенос капли электродного металла, этот момент также фиксируется по всплеску напряжения на дуге;
- $t4$ – окончание протекания тока импульса, и завершено расплавление следующей капли, из-за большого давления дуги капля отжимается, и находится на боковой поверхности электрода;
- $t5$ – протекает ток дежурной дуги, и капля занимает соосное положение с электродом.

Рис. 5 Стадии протекания процесса

Также можно отметить, что в паузе скорость движения металла ванны разных циклов несколько отличается (кадры 5-20), однако, к началу импульса положение гребня всегда одинаково, что достигается наличием обратной связи по скорости изменения напряжения на дуге.

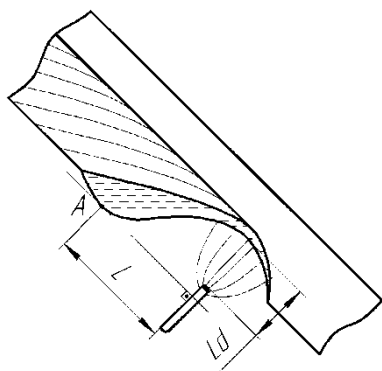


Рис. 6 Схема измерений:
Ld - длина дуги;
L - расстояние от образующей электрода до гребня

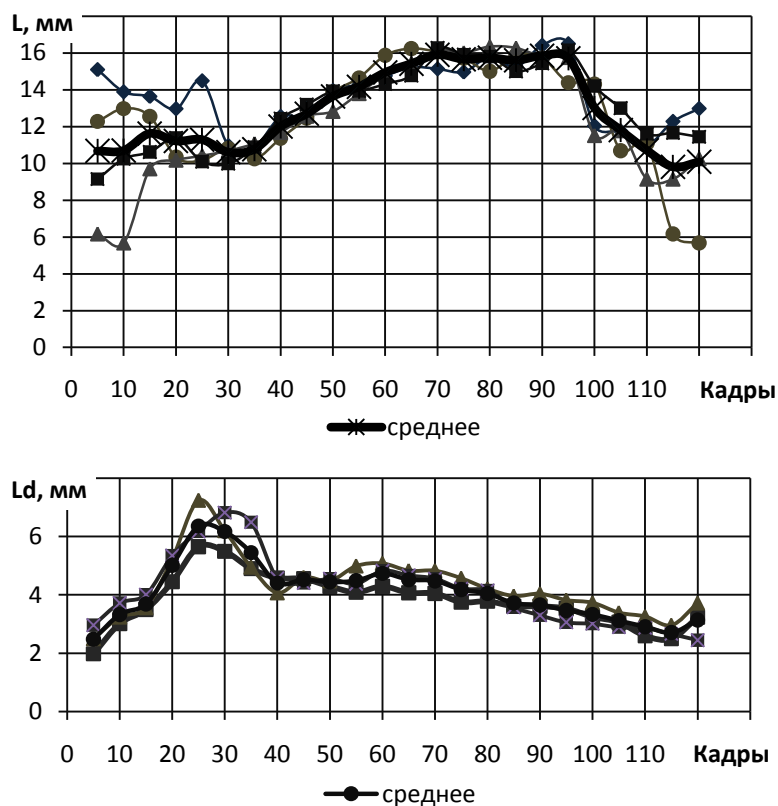


Рис. 7 Изменение расстояния до гребня и длины дуги

Характер движения гребня идентичен для каждого цикла. Сама кривая имеет вид экспоненты, что хорошо согласуется с данными А.А. Ерохина. Аналогичным образом получены зависимости изменения длины дуги (рис. 7) из них видно, что в установившемся режиме скорость изменения длины дуги для различных циклов практически одинаковая, из этого можно сделать вывод о высокой стабильности процесса.

В четвертой главе сформулированы требования к импульсному питанию в среде углекислого газа:

- обеспечение физической устойчивости горения дуги;
- обеспечение технологической устойчивости процесса;
- стабильность переноса электродного металла через дуговой промежуток в сварочную ванну к концу протекания тока импульса;
- автоматическое изменение частоты следования импульсов при изменении скорости подачи проволоки, при установленном значении длительности импульсов;

-
- The block diagram (left) illustrates the control logic:
- 1** источник питания (Power source)
 - 2** (Resistor)
 - 3** коммутирующее устройство (Switching device)
 - 4** блок сравнения напряжения дуги с задющим напряжением (Arc voltage comparison block with setpoint voltage)
 - 5** блок формирования длительности пауз (Pause duration formation block)
 - 6** релейный элемент (Relay element)
 - 7** блок формирования длительности импульсов (Impulse duration formation block)
 - 8** датчик фиксации отрыва капли (Drop detachment fixation sensor)
 - 9** усилительное устройство (Amplifier device)
- The circuit diagram (right) shows the electrical implementation:
- Input voltage U_d is connected to a network of resistors R_3 , R_4 , and R_5 .
 - Diode V_1 is in series with the input.
 - Diode V_2 is in parallel with resistor R_4 .
 - Capacitor C is connected to the input.
 - The output of the circuit is labeled "Выход к блоку 7" (Output to block 7).

Figure 1 consists of two parts: a block diagram (a) and a schematic diagram (б).

Block diagram (a) shows the following components and connections:

- 1 источник питания** (Power source) connected to **2** and **3**.
- 2** is a switch controlled by **3** and **7**, providing current $I_{св}$ to **4**.
- 4 блок сравнения напряжения дуги с заданным напряжением** (Arc voltage comparison block with set voltage) receives $U_{дл}$ from **2** and $U_{з}$ from **8**. It outputs ΔU to **5** and **9**.
- 5 блок формирования длительности паузы** (Pause duration formation block) receives ΔU and outputs $I_{с}$ to **6**.
- 6 релейный элемент** (Relay element) receives $I_{с}$ and outputs to **7**.
- 7 блок формирования длительности импульсов** (Pulse duration formation block) receives input from **6** and outputs to **3**.
- 8 датчик коротких замыканий** (Short-circuit detector) receives $U_{з}$ and outputs to **4** and **9**.
- 9 усилительное устройство** (Amplifier) receives input from **8** and **4**, and outputs to **10**.
- 10 форсирующее звено** (Forcing link) receives input from **9** and outputs to **4**.

Schematic diagram (б) shows the electrical implementation:

- Input $U_{з}$ is connected to a network of resistors $R1, R2, R4$ and diodes $VD1, VD2, VD3$.
- Diode $VD1$ is in series with $R1$ to the positive supply.
- Diode $VD3$ is in series with $R2$ to the negative supply.
- Diode $VD2$ is in series with $R4$ to the positive supply.
- Resistor $R3$ is connected to the output of the relay element (V3) and the negative supply.
- The output of the relay element (V3) is labeled "Выход к блоку 7" (Output to block 7).

13

В соответствии со сформулированными требованиями разработана функциональная схема тиристорного модулятора импульсов сварочного тока, предназначенная для работы со сварочными источниками постоянного тока и жесткой внешней вольтамперной характеристикой.

Разработана функциональная схема устройства для дозирования энергии на расплавление каждой последующей капли и принципиальная электрическая схема датчика фиксации отрыва капли рис. 8.

Разработано устройство для снижения тока короткого замыкания в начале процесса сварки при зажигании дуги, и при случайных коротких замыканиях (рис. 9).

В пятой главе Приведено описание созданной экспериментальной установки, определены технологические возможности импульсного питания дуги, при различных параметрах режима сварки. Приведена методика определения формы проплавления и веса сварочной ванны. Эксперименты проводились на образцах из Ст 3 размерами 300*60*8 (мм), использовалась сварочная проволока Св-08Г2С диаметрами 1, 1.2 мм.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований были получены зависимости изменения угла наклона электрода и длительности импульсов от пространственного положения рис. 10.

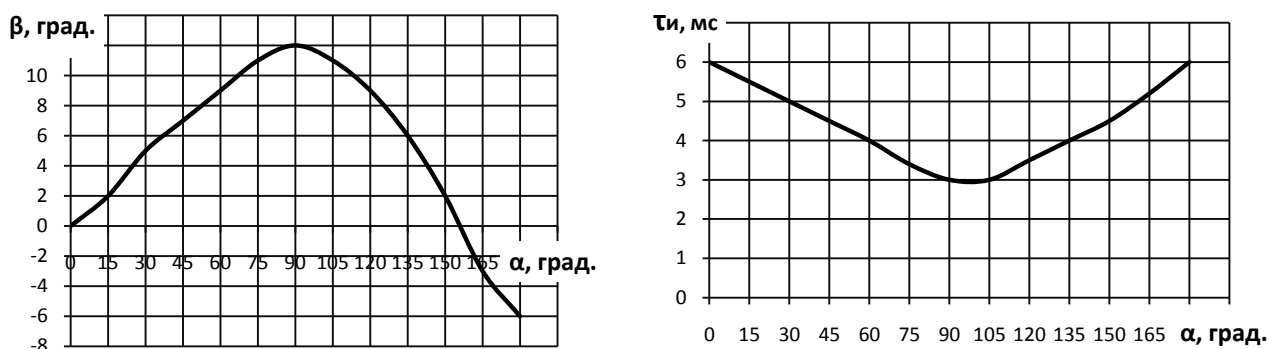
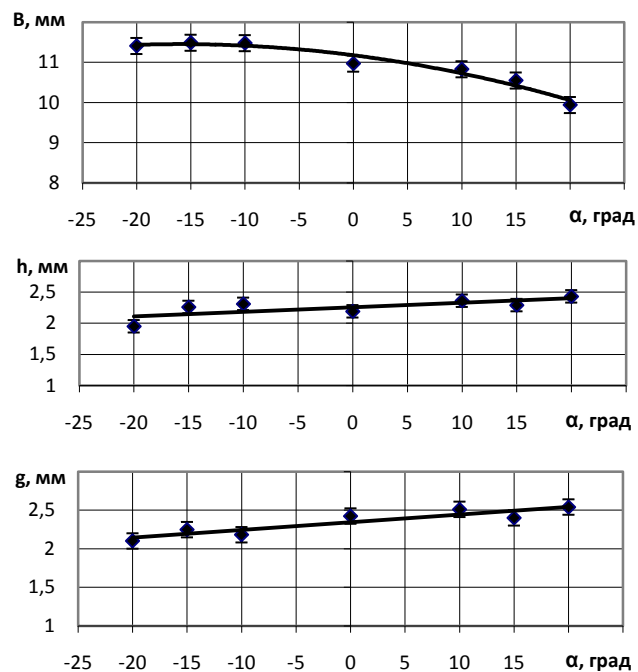
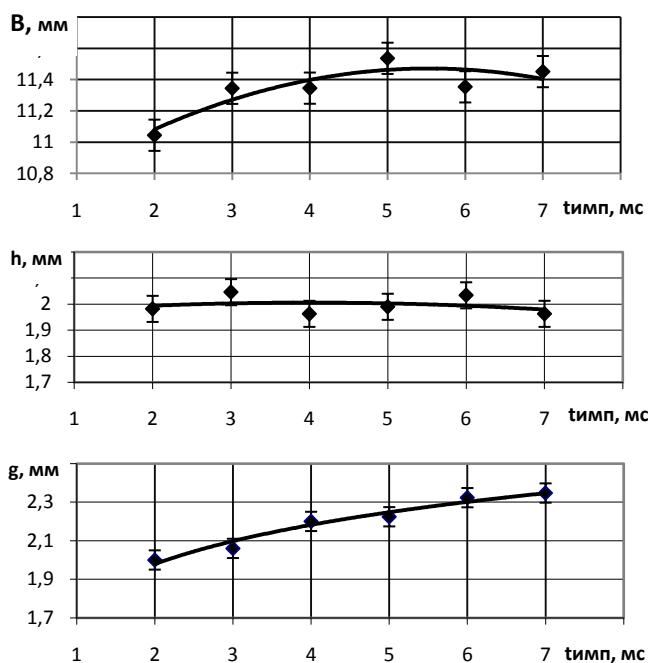


Рис. 10 Зависимости изменения угла наклона электрода (β) и длительности импульсов (T_i) при сварке с импульсным питанием дуги от пространственного положения

Получены зависимости влияния длительности импульсов и угла наклона электрода на геометрию наплавленного валика в нижнем положении рис. 11. Приведены поперечные шлифы наплавленных валиков в различных пространственных положениях, выполненных на неизменяемом режиме сварки рис. 13. Показана перспективность применения импульсного питания для сварки в щелевую разделку. При импульсном питании дуги, столб дуги в момент импульса значительно



а)

б)

Рис. 11 Изменение геометрии наплавленного валика в зависимости от:

а) длительности импульсов; б) угла наклона электрода

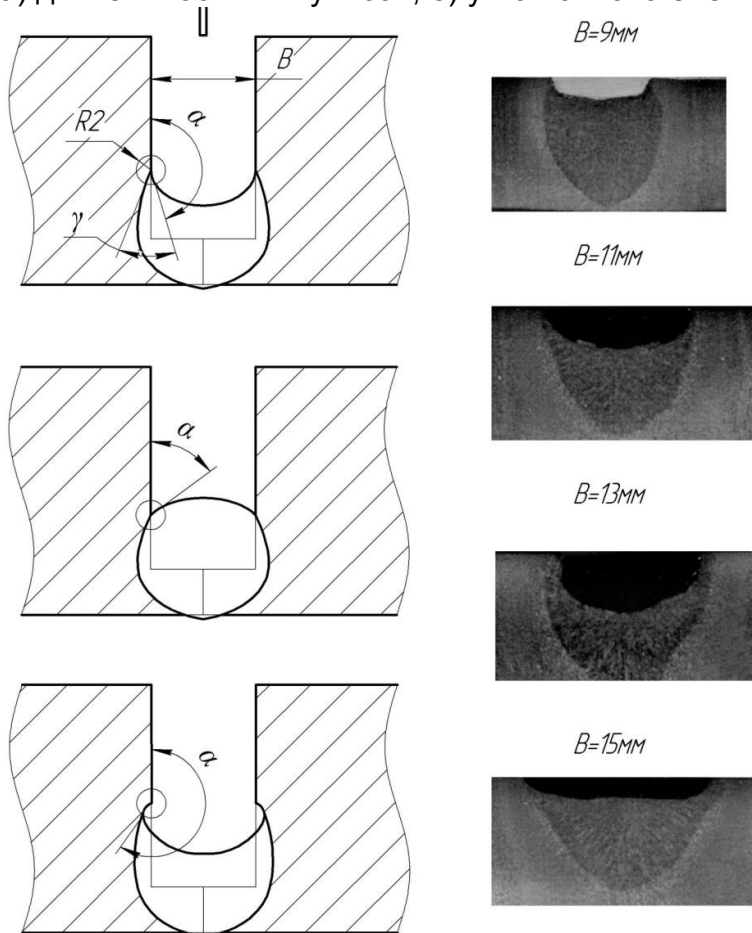


Рис. 12 Формирование валика в щелевую разделку при сварке с импульсным питанием дуги в среде углекислого газа

Рис. 13 Геометрия наплавленных валиков в различных пространственных положениях

расширяется и имеет размер 7-8 мм. Поэтому создаются благоприятные условия для сварки в щелевую разделку, т.к. дуга, в момент импульса, расширяясь, будет оплавлять кромки, обеспечивая гарантированное сплавление.

Оценку формирования валика проводили по методике предложенной Чернышовым Г.Г., где основным критерием оценки является угол перехода поверхности валика к кромке (угол α) рис. 12.

Эксперименты показали, что вогнутый мениск гарантированно формируется во всем диапазоне рекомендованных режимов, что исключает возможное заклинивание шлака и несплавление с кромками.

В отличие от способов сварки, использующих стационарную дугу, при сварке с импульсным питанием дуги тепло в сварочную ванну вводится неравномерно, соответственно и кристаллизация металла шва идет неравномерно, а с частотой следования импульсов, что также отмечалось многими исследователями. Из рис. 14 видно, что структура металла шва разориентированна и, нет значительно протяженных дендритов в отличие от шва, выполненного сваркой в углекислом газе с короткими замыканиями дугового промежутка, где от зоны сплавления до поверхности шва хорошо видны протяженные полосы феррита (рис. 15).

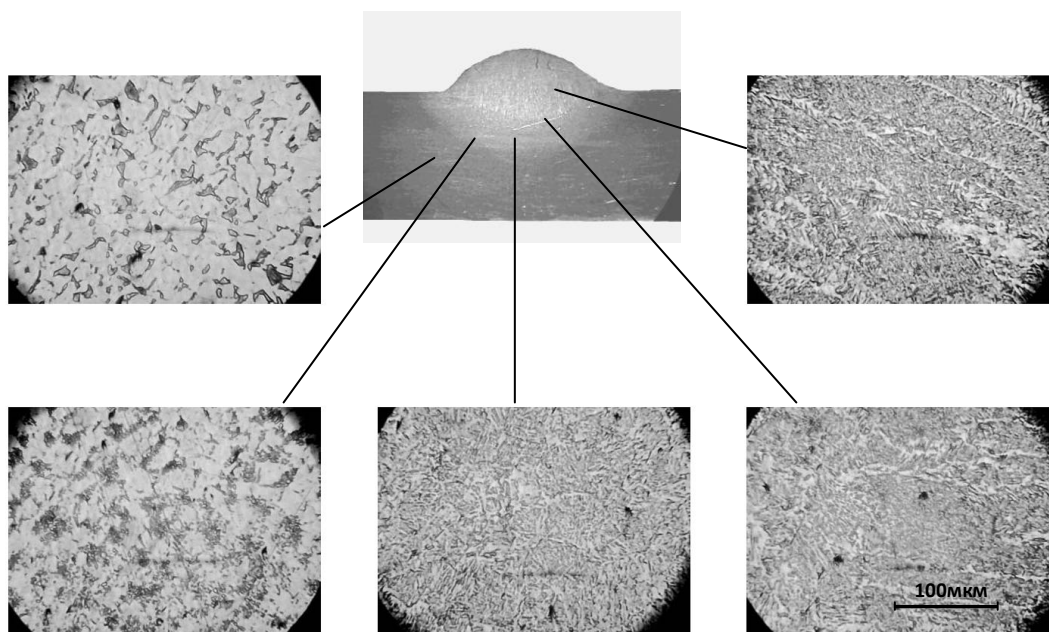


Рис. 14 Макро и микроструктура наплавленного валика, выполненного сваркой в углекислом газе с импульсным питанием дуги

Это объясняется тем, что при импульсном питании непрерывно изменяется тепловое и гидродинамическое состояние металла сварочной ванны у межфазной границы, что вызывает дискретный рост дендритов из новых центров с изменением направления осей. Поэтому образуется

дезориентированная мелкозернистая структура шва. Приведены результаты механических свойств сварных соединений выполненных сваркой с импульсным питанием дуги, и представлены рекомендуемые режимы сварки (таблица 1). Результаты химических анализов металла

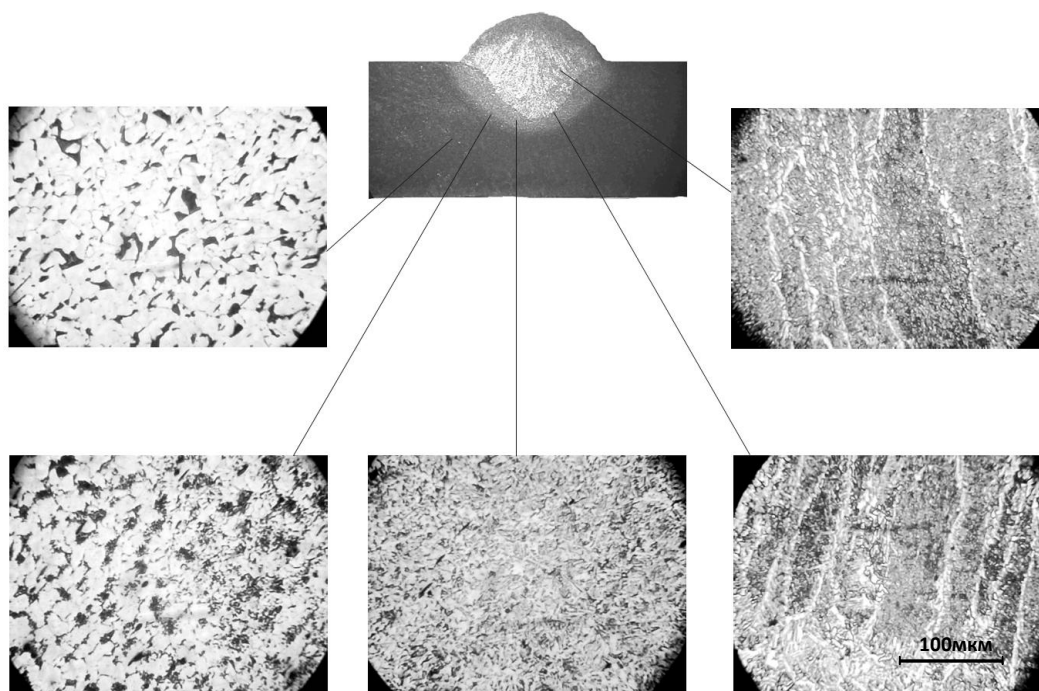


Рис. 15 Макро и микроструктура наплавленного валика, выполненного сваркой в углекислом газе с короткими замыканиями дугового промежутка

валиков показали, что при импульсном питании несколько возрастает содержание углерода, марганца, кремния. Это объясняется меньшей продолжительностью формирования капли и меньшим временем пребывания ее в дуговом промежутке, в результате чего снижается выгорание элементов.

Таблица 1 - Рекомендуемые режимы сварки

Параметры режима	Корневой слой	Заполняющие слои	Облицовочный слой
$I_{ср.}, A$	140-160	150-200	150-180
$I_{имп.}, A$	500-550		
$I_{деж.}, A$	15-30		
$\tau_{имп.}, мс$	3,5-7		
$U_{зад.}, B$	32	28	28
$V_{св.}, м/ч$	15-30	20-40	20-40
$V_{под.}, м/ч$	450-800	400-650	400-650
$d_{эл.}, мм$	1	1,2	1,2
$L_{в.}, мм$	15-17	17-20	17-20
Расход газа, л/мин	12-15		
Ширина разделки, мм	8-9		

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основе анализа сил действующих на сварочную ванну при импульсном питании дуги, установлено, что для удержания сварочной ванны в процессе сварки необходимо изменять угол наклона электрода и длительность импульсов.

2. Установлено, что для обеспечения динамического равновесия сварочной ванны необходимо использовать критериальный параметр по скорости изменения напряжения на дуговом промежутке в паузе.

3. Экспериментально доказано, что сварочная ванна при импульсном питании сварочной дуги совершает колебания с частотой следования импульсов, и находится в динамическом равновесии во всех пространственных положениях.

4. Разработана методика для оценки характера движения металла сварочной ванны при импульсном питании и установлено, что сварочная ванна движется по экспоненциальной зависимости, скорость ее движения в хвостовую часть 320 мм/сек, в головную часть 840 мм/сек.

5. Экспериментально определены значения параметров импульсов и углов наклона электрода при сварке с импульсным питанием дуги, длительность импульсов должна быть в пределах 3 - 6,5 мс, а угол наклона электрода не больше 15° углом вперед и углом назад, даны технологические рекомендации.

6. Экспериментально установлено, что при сварке с импульсным питанием дуги в щелевую разделку обеспечивается формирование вогнутого мениска во всем диапазоне рекомендованных режимов.

7. Проведенный анализ макро и микроструктуры сварного шва показал, что при импульсном питании структура шва мелкозернистая и разориентированная, а механические свойства сварных соединений выше, чем при сварке с короткими замыканиями дугового промежутка.

8. Разработано устройство, для сварки с импульсным питанием дуги, позволяющее дозировать энергию на расплавление каждой последующей капли электродного металла.

9. Разработано устройство, для ограничения тока при коротком замыкании. Благодаря ограничению длительности импульса тока при коротких замыканиях исключается выброс электродного металла и улучшается зажигание дуги, что повышает качество сварного шва и надежность работы.

10. Создана комплексная экспериментальная установка, позволяющая проводить скоростную киносъемку процесса сварки, осциллографирование, выдув металла сварочной ванны.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Веревкин А.В. Экспериментальная установка для комплексного исследования процесса сварки / А.В. Веревкин, А.Ф. Князьков, С.А. Князьков // Автоматизация и современные технологии. - 2005. - №11. - С. 13-17.

2. Патент 2185941 Российская Федерация, МПК⁷ В23К9/09 Устройство для сварки / Веревкин А.В., Князьков А.Ф., Князьков С.А., Крампит А.Г.; заявитель и патентообладатель ТПУ; заявл. 27.02.01; приоритет 27.07.02.

3. Патент 2210475 Российская Федерация, МПК⁷ В23К9/095 Устройство для сварки / Веревкин А.В., Князьков А.Ф., Князьков С.А.; заявитель и патентообладатель ТПУ; заявл. 03.01.02; приоритет 20.08.03.

4. Веревкин А.В. Определение критериального параметра при технологической адаптации процесса сварки неповоротных стыков трубопроводов / А.В. Веревкин, А.Ф. Князьков // Ползуновский альманах. - 2010. - №1. - С. 229-230.

5. Веревкин А.В. Динамическая стабилизация сварочной ванны при сварке в CO₂ с импульсным питанием дуги / А.В. Веревкин, А.Ф. Князьков, С.А. Князьков // Ползуновский альманах. - 2010. - №1. - С. 229-230.

6. Веревкин А.В. Автоматизация сварки неповоротных стыков при строительстве магистральных трубопроводов / А.В. Веревкин, А.Ф. Князьков, С.А. Князьков // Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии на рубеже веков».- Пенза, 2000. Ч.2 – С.168-170.

7. Веревкин А.В. Criterion parameter determination with the technological adaptation of fixed butt welding of pipelines / А.В. Веревкин, А.Ф. Князьков, С.А. Князьков // The ninth International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientist "Modern Techniques and Technologies" / Tomsk Polytechnic University. - Tomsk, 2003. – С. 107-109.

8. Веревкин А.В. Особенности удержания сварочной ванны в положениях отличных от нижнего / А.В. Веревкин, А.Ф. Князьков, С.А. Князьков // IV Международная научно-техническая конференция

«Современные проблемы машиностроения» / Томский политехнический университет. – Томск, 2008. - С. 323-328.

9. Веревкин А.В. Влияние длительности импульсов на геометрию шва при сварке с импульсным питанием дуги в среде CO_2 / А.В. Веревкин А.Ф. Князьков, Д.С. Евдокимов // XIV Международная конференция «Современные техника и технологии» / Томский политехнический университет. – Томск, 2008.- Т.1. - С. 254-256.

10. Веревкин А.В. Влияние угла наклона электрода на геометрию шва при сварке с импульсным питанием дуги в среде CO_2 / А.В. Веревкин, А.Ф. Князьков // XIV Международная конференция «Современные техника и технологии» / Томский политехнический университет. – Томск, 2008.- Т.1. - С. 256-257.

11. Веревкин А.В. Система геометрической адаптации специализированного робота для сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов / А.В. Веревкин, С.В. Неклюдов, А.Ф. Князьков [и др.] // IX Международная конференция «Современные техника и технологии» / Томский политехнический университет. – Томск, 2003.- Т.1. - С.195-197.

12. Веревкин А.В. Применение дорнования для повышения износостойкости медных токоподводящих наконечников для сварки плавящимся электродом в углекислом газе / А.В. Веревкин, А.Ю. Арляпов, В.Ф. Скворцов, [и др.] // IX Международная конференция «Современные проблемы машиностроения и приборостроения» / Томский политехнический университет. - Томск, 2003.- С. 116-117.