

М239975

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

КУЗНЕЧИКОВ Олег Васильевич

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВАННОЙ СВАРКИ
СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ
СТЕРЖНЕВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

(05.04.05 — Технология и машины сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Работа выполнена в ЦНИИСК им. В. А. КУЧЕРЕНКО

Научный руководитель:
доктор технических наук БРОДСКИЙ А. Я.

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор ТРОФИМОВ В. И.

Официальные оппоненты:
доктор техн. наук КИСЛЮК Ф. И.,
кандидат техн. наук АЛЕКСЕЕВ А. И.

Ведущее предприятие ВНИКТИ стальных конструкций
г. Москва.

Автореферат разослан « » 1974 г.

Защита диссертации состоится « » 1974 г.
на заседании Совета факультета АМ Московского ордена Ле-
нина и высшего техни-
ческогдресу: Москва,
10700

Ва , просьба вы-
слать

С блитеке учи-
лица.

Учень

М239975

Увеличение объемов строительства и в связи с этим производства металлических конструкций, вызывает необходимость в применении эффективных технологических процессов сварки и совершенствования конструктивных форм, способствующих снижению стоимости, повышению качества и ускорению сроков возведения сооружений.

Как показывает опыт использования в монтажных условиях ванн способов сварки для соединения встык арматуры железобетонных конструкций эти способы выгодно отличаются от способов сварки протяженными швами, широко применяемых для соединения стержневых элементов решетчатых металлических конструкций.

Преимущества дуговых ванн способов сварки обусловили появление новой конструктивной формы узлового сопряжения стержневых трубчатых элементов со сплюснутыми концами. Это решение отвечает современной тенденции совершенствования пространственных металлических конструкций из стержневых элементов, получивших развитие в практике строительства.

Для реализации преимуществ ванн способов сварки при изготовлении новых форм металлических конструкций, а также для дальнейшего успешного развития высокоэффективных способов ванной сварки в традиционной области применения требуется решить ряд задач, связанных, во-первых, с детальным исследованием механизма явлений в сварочной ванне, во-вторых, с разработкой рационального варианта процесса и технологии ванной сварки узловых сопряжений стержневых элементов металлических конструкций.

Диссертация посвящена совершенствованию ванного способа сварки и расширению области применения этого технологического процесса в строительстве. В работе приведены данные об электрических и физических явлениях в сварочной ванне, содержатся предложения по совершенствованию оборудования и технологии ванн способов сварки, рассмотрены особенности возведения первых в нашей стране большепролетных структурных покрытий из стержневых элементов с узлами сопряжений, выполненными ванной сваркой.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов. Она изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 16 таблиц, 104 рисунка и список литературы из 113 наименований.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1239975

Кузнециков О.В. Исследования

44663204

В главе I дан анализ особенностей ванн дуговых процессов сварки в сопоставлении с бездуговым процессом электрошлаковой сварки, разработанным в Институте электросварки им. Е.О. Патона АН УССР.

Внешнее сходство рассматриваемых процессов и наличие общих черт, по-видимому, явилось причиной того, что изучению особенностей процесса дуговой ванны сварки посвящено сравнительно мало работ.

Согласно существующим представлениям о тепловых основах ванн процессов сварки с неподвижными формирующими элементами, применительно к соединениям арматурных стержней железобетонных конструкций, основным источником тепла является дуговой разряд, а кристаллизация шлака на поверхностях, подлежащих соединению, называемая избирательной кристаллизацией /зашлаковой/, определяется относительными теплофизическими свойствами материалов, образующих плавильное пространство.

В последнее 10 летие в процессе развития ванн способов сварки и при переходе к полуавтоматической ванно-сварке под флюсом были обнаружены новые данные, не укладывающиеся в рамки прежних представлений, в частности:

а/ при использовании формирующих элементов из слаботеплопроводных материалов не обнаружена избирательная кристаллизация шлака на стыкуемых поверхностях;

б/ при электрической изоляции одного из свариваемых элементов, последний оказывается несплавленным с металлом шва, то есть теплопередача от источника тепла через ванну жидкого металла кромками свариваемых элементов не обеспечивает основной доли тепла, необходимого для их расплавления.

в Кроме того, несмотря на сравнительно широкое распространение в строительстве полуавтоматической ванны сварки не был детально изучен механизм явлений в сварочной ванне, обуславливающих высокую эффективность этого процесса.

В главе рассмотрены различные варианты сопряжений стержневых элементов структурных конструкций, нашедших применение за рубежом. Известные сейчас решения узлов с промежуточными деталями "Меро"у "Октоплатте", "Ос-дю-шато", "Триодетик", "Ифи"

И. Н. З. Бауэра
БИБЛИОТЕКА

сложны и нетехнологичны. Вследствие этого, данные конструктивные решения не получили развития в Советском Союзе.

Ванный способ сварки характеризуется рядом достоинств, одним из которых является возможность соединения одновременно группы деталей. Реализация этого достоинства привела к разработке конструкции узла трубчатых пространственных систем со сплюснутыми концами. Внедрение в практику строительства эффективных пространственных металлических конструкций с такими узлами сдерживалось отсутствием рациональной технологии ванной сварки.

Итак, целью настоящей работы являлось создание условий для существенного расширения области применения ваннных процессов сварки в строительстве. Анализ имеющихся материалов по рассмотренным вопросам позволил определить следующие задачи, для достижения поставленной в настоящей работе цели:

1. Исследовать электрофизические характеристики полуавтоматической ванной дуговой сварки под флюсом.

2. Исследовать технологические особенности ваннных дуговых процессов сварки.

3. Разработать специализированное оборудование и оснастку для ваннных дуговых процессов сварки.

4. Разработать и внедрить в практику строительства технологию сборки и ванной дуговой сварки узлов сопряжений структурных конструкций из трубчатых стержневых элементов со сплюснутыми концами.

Глава II посвящена исследованию электрофизических характеристик полуавтоматической ванной дуговой сварки под флюсом.

При сварке на переменном токе по виду кривых тока и напряжения на осциллограммах, характеризующих пиками зажигания дуги после изменения полярности электрода, установлено, что процесс полуавтоматической сварки на переменном токе является дуговым.

В главе приведены результаты исследований активной зоны сварочной ванны. Наблюдения явлений, происходящих в сварочной ванне, через оптически прозрачную среду по методике, предложенной в ГДР, позволили обнаружить интенсивное свечение и движение

локальной зоны металлической ванны на участке, совпадающем с осью входа сварочной проволоки в плавильное пространство значительно ниже границы раздела расплавленного флюса и металла. В процессе этих экспериментов дуговой разряд не наблюдали, так как оптически прозрачным был только слой расплава шлака вблизи плоскости кварцевого стекла. Путем применения проволочных зондов, размещенных на различном расстоянии от плоскости кварцевого стекла, установлено, что с увеличением расстояния прозрачность расплава шлака интенсивно убывает, а наиболее высокая температура расплава шлака наблюдается в зоне, прилегающей к границе раздела шлаковой и металлической ванны.

Для регистрации дугового разряда в глубине металлической ванны разработан и применен способ ее зондирования плавящимся оптически прозрачным зондом-световодом. В основу нового способа исследования активной зоны плавильного пространства положен принцип полного внутреннего отражения света в оптически прозрачных средах-световодах. Предложенная методика позволила установить ранее не известную особенность полуавтоматического ванного процесса сварки, заключающуюся в том, что дуга устойчиво горит ниже уровня шлаковой ванны в глубине расплавленного металла.

В главе приведены результаты исследования электрических характеристик сварочной цепи при ваннных процессах сварки. Эти характеристики, главным образом, величину сопротивления различных участков сварочной цепи и сварочной ванны, изучали, используя метод осциллографирования. В результате экспериментально-теоретических исследований установлено, что сопротивление сварочной ванны составляет 0,03 - 0,05 ома и доля тепла Джоуля-Ленца в общем объеме выделяемого при сварке тепла достигает 25-40%.

Глава III посвящена исследованию технологических особенностей ваннных дуговых процессов сварки, важнейшими из которых являются:

а/ взаимосвязь основных параметров режима /ток, напряжение, скорость подачи сварочной проволоки/ полуавтоматической ванной дуговой сварки;

б/ влияние токоподвода и материала формирующих устройств на механизм образования зашлаковок и несплавлений;

в/ нагрев соединяемых деталей, формирующих устройств и влияние термического цикла на прочность сварных соединений.

Установлено, что при полуавтоматической ванной дуговой сварке между сварочным током $I_{св}$ и скоростью подачи сварочной проволоки диаметром 2 мм $U_{пр}$ при различных значениях напряжения источника питания U существуют прямые, линейные зависимости, имеющие следующие соотношения:

$$\begin{aligned} I_{св} &= 27 + 0,47 U_{пр} & / \text{ при } U &= 30 \text{ в/} \\ I_{св} &= 50 + 0,72 U_{пр} & / \text{ при } U &= 35 - 40 \text{ в/} \\ I_{св} &= 83 + 0,90 U_{пр} & / \text{ при } U &= 45 \text{ в/} \end{aligned}$$

Анализ осциллограмм напряжения и сварочного тока показал, что устойчивость дугового разряда, характеризуемая частотой и длительностью коротких замыканий, с увеличением напряжения возрастает, а при увеличении скорости подачи сварочной проволоки снижается. При напряжении источника питания 45 в дуговой разряд устойчив при скорости подачи сварочной проволоки до 650 м/час. При более высокой скорости подачи сварочной проволоки 1000-1200 м/час, то есть при сварке с использованием ранее неизвестного диапазона режимов, внешне процесс протекает спокойно без вылесков шлака и металла из плавильного пространства. Однако, на осциллограммах тока и напряжения при сварке со столь высокой скоростью подачи сварочной проволоки были обнаружены сплошные всплески коротких замыканий. Вид этих осциллограмм подобен осциллограммам, снятым при низком напряжении источника питания, что позволило предположить возможность использования режимов сварки со скоростью подачи проволоки 1000 м/час и более, для снижения тепловложений в плавильное пространство.

Изучение взаимодействия расплава шлака и металла со стенками формирующих устройств, влияния этого взаимодействия на условия растекания тока в плавильном пространстве и механизм предупреждения зашлаковок свариваемых деталей выполнено с использованием формирующих устройств в виде полуцилиндров из меди, изолированных от свариваемых деталей и друг от друга и включенных в специальную измерительную цепь, а также с применением обычных

формирующих устройств и отдельным токоподводом к элементам, образующим плавильное пространство.

Результаты исследования подтвердили установленную ранее способность формирующих устройств из материалов с высокой теплопроводностью избирательно кристаллизовать на своей поверхности расплав шлака, который, изолируя формирующие устройства от воздействия сварочного тока и тепла сварочной ванны, обеспечивает термическую стойкость медных форм.

Электрическая изоляция формирующих устройств от сварочной цепи изменяет путь протекания тока по ванне к зоне горения дуги. Сварочный ток, поступая от кромок свариваемых деталей к зоне горения дуги по узкому проводящему слою расплав шлака, расположенному на границе раздела с расплавом металлической ванны, вызывает сильный перегрев этого проводника. Основная доля тепла, вызывающего расплавление кромок соединяемых деталей, выделяется в указанном проводящем слое шлака, подобно тому, как это имеет место при электрошлаковых процессах сварки.

При сварке в формирующих устройствах из огнеупорных материалов с низкой теплопроводностью на стенках форм не образуется защитного слоя из закристаллизовавшегося шлака, при этом огнеупорная поверхность форм оплавляется и становится электропроводной. Концентрация тока в узком проводящем слое вызывает разрушение огнеупорного материала.

Если нарушена изолирующая прослойка из закристаллизовавшегося шлака, аналогичное явление имеет место и при использовании форм из углеродистых материалов.

В главе приведен анализ режима охлаждения сварных соединений стержневых элементов, выполненных различными способами ванной сварки. Основываясь на результатах механических испытаний сварных соединений высказано мнение о том, что термический цикл процесса одноэлектродной ванной сварки предпочтительнее, чем термические циклы полуавтоматического и многоэлектродного процессов.

В результате исследования особенностей нагрева формирующих устройств установлено, что 30-40% от общего количества тепла, выделяемого в зоне сварки, расходуется на нагрев медных форм.

Глава IV посвящена разработке оборудования и оснастки для ваннных процессов сварки. В результате исследования электрофизических и технологических особенностей ваннных процессов сварки, а также анализа возможностей регулирования тепловложений при полуавтоматической ванной дуговой сварке под флюсом предложен новый способ механизированной ванной сварки.

Основанный на преимуществах регулирования параметров режима путем изменения скорости подачи сварочной проволоки, вместо широко используемого способа регулирования изменением напряжения источника питания, новый способ механизированной ванной сварки был положен в основу технического задания на проектирование и изготовление специализированного полуавтомата для ванной сварки стержневых элементов строительных конструкций. Конструкция опытного образца полуавтомата, разработанного ОКБ ИЭС им.Патона по техническому заданию ЦНИИСК, представляет собой компактный аппаратный ящик весом около 16 кг, в котором размещены подающий механизм и блок управления электрической схемой. Питание электрической схемы полуавтомата осуществляется непосредственно от источника сварочного тока, что существенно упрощает условия применения в монтажных условиях.

В главе рассмотрены особенности электрической схемы полуавтомата и приведены результаты лабораторных испытаний опытной конструкции. Результаты испытаний полуавтомата позволили сделать вывод о том, что конструкция опытного образца удовлетворяет требованиям технического задания и может быть рекомендована в качестве базовой модели для разработки серийных образцов.

В главе рассмотрены принципы выбора массы формирующих устройств из меди и материалов заменителей меди. Показано, что масса формирующих устройств из меди для ручной ванной одноэлектродной сварки должна быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем для полуавтоматической ванной сварки. В последнем случае для изготовления форм можно применять углеграфитовые материалы, при этом линейные размеры форм из графита должны быть примерно в 2 раза больше, чем размеры медных форм.

Для замены меди при ручной одноэлектродной ванной сварке можно применять керамические формы на основе кварцевого песка и фос-

фатных связующих.

Глава У посвящена изысканию технологии сборки и ванной сварки узлов структурных конструкций из трубчатых элементов со сплюснутыми концами. Разработаны способы ванной сварки, обеспечивающие наиболее простое выполнение соединений в монтажных условиях. Для выполнения работ по сборке узлов под сварку разработан способ, основанный на использовании предложения о применении центрирующего кольца и монтажных штырей.

В главе рассмотрены особенности подготовки к внедрению технологии сборки и ванной сварки узлов сопряжений структурных конструкций покрытий в г.Иркутске и в г.Москве, приведены результаты испытаний сварных соединений, выполненных в процессе разработки технологии сварки и при подготовке сварщиков для выполнения сварочных работ на монтаже. Дана характеристика узловых сопряжений структурного покрытия спортивного корпуса стадиона ДСО "Труд" в г.Иркутске и освещен опыт возведения первых в стране структурных покрытий с узлами сопряжений, образованными с помощью ванной сварки. Рассмотрены два способа монтажа покрытий: на проектной отметке с применением подвижных подмостей и на монтажной площадке с последующим подъемом покрытия в проектное положение

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенной работы сделаны следующие основные выводы:

1. Полуавтоматическая ванная сварка под флюсом стержневых элементов на режимах, применяемых в строительстве /при скорости подачи сварочной проволоки 300+500 м/час и глубине шлаковой ванны 10+15 мм/, представляет собой электродуговой процесс. Ранее не известной особенностью этого процесса является то, что дуга устойчиво горит ниже уровня шлаковой ванны в глубине расплавленного металла.

2. Электрические процессы при ванной дуговой сварке стержневых элементов характеризуются рядом особенностей:

а/ Сопротивление сварочной ванны составляет $0,03 - 0,05$ ома и доля тепла Джоуля-Ленца в общем объеме выделяемого при сварке тепла достигает 25-40%;

б/ Явление зашлаковки кромок свариваемых элементов определяется не только соотношением теплофизических характеристик материала свариваемых деталей и формирующих устройств, а также условиями протекания электрического тока от кромок элементов к зоне дуги;

в/ Основная доля тепла, вызывающего расплавление кромок соединяемых элементов, выделяется в узком проводящем слое расплава шлака, расположенного на границе с металлической ванной, подобно тому, как это происходит при электрошлаковой сварке;

г/ Термическая стойкость формирующих устройств из меди и других материалов с высоким коэффициентом теплопроводности обусловлена избирательной кристаллизацией шлака, изолирующего формирующие устройства от воздействия сварочного тока и тепла сварочной ванны;

д/ Формирующие элементы из огнеупорных материалов, отличающиеся отрицательным температурным коэффициентом электроопротивления разрушаются при сварке под действием тока, протекающего по тонкому электропроводному слою, расположенному по пограничной поверхности - расплав металла - огнеупорный материал.

3. Особенностью тепловых процессов при ванной дуговой сварке стержневых элементов являются:

а/ Существенное различие температуры металла околованной зоны и формирующих устройств, обусловленное теплоизолирующей прослойкой закристаллизовавшегося шлака между поверхностью формы и металлом сварочной ванны;

б/ Наличие затрат в 30-40% от общего количества тепла, выделяемого в зоне сварки на нагрев медных форм.

4. Величина эффективного к.п.д. процесса полуавтоматической ванной дуговой сварки под флюсом в начальный и последующие периоды сварки после расплавления флюса существенно изменяется, что обуславливает необходимость изменять параметры режима на различных этапах процесса.

5. Реализованный при создании опытного образца специализированного полуавтомата способ регулирования параметров режима механизированной ванной сварки путем изменения скорости подачи сварочной проволоки, вместо широко используемого способа регулирования изменением напряжения источника питания, повышает качество сварных соединений, упрощает конструкции оборудования, что будет способствовать расширению объема применения эффективных ваннных процессов сварки в строительстве.

6. Применение формирующих устройств из материалов - заменителей меди, а также использование новых конструктивных решений сварочной оснастки, сокращающих объем наплавленного металла, позволяет без ущерба для качества сварных соединений сократить расход дефицитной меди и способствует повышению эффективности ваннных процессов сварки.

7. Основные положения, установленные при исследовании электрических и технологических особенностей ваннных процессов сварки стержневых элементов компактного сечения, справедливы для сварки элементов из труб со сплюснутыми концами, применительно к узлам структурных металлических конструкций.

8. Технология и способы ручной ванной сварки с вытеканием шлака и уплотнением плавильного пространства вытекающим шлаком позволили обеспечить заданные геометрические размеры структурных покрытий при использовании несложной оснастки без необходимости в специальном технологическом оборудовании.

9. Эффективность применения ваннных процессов сварки для изготовления металлических строительных конструкций доказана опытом сооружения двух первых в нашей стране большепролетных структурных покрытий с узлами сопряжений трубчатых элементов, образованными с помощью ванной сварки.

х х
х

В процессе работы над диссертацией выполнен большой объем экспериментальных исследований с применением специальных методов, разработанных автором, в том числе, методики исследования высокотемпературных зон с использованием оптически прозрачного

плавящегося зонда-световода и методики определения сопротивления сварочной ванны.

Предложен новый способ механизированной ванной сварки, на основе которого по техническому заданию института ОКБ ИЭС им.Патона разработано опытный образец полуавтомата для ванной сварки стержневых элементов строительных конструкций. Полуавтомат успешно прошел лабораторные испытания.

Для внедрения в практику строительства новых форм металлических конструкций структурного типа, дающих экономию 18-22% металла по сравнению с традиционными решениями, разработаны способы сборки и ванной сварки узловых сопряжений труб со сплюснутыми концами.

В процессе работы над диссертацией автором получено 7 авторских свидетельств СССР.

Результаты работы при участии автора внедрены при возведении следующих объектов:

1. Большепролетного структурного покрытия Дворца Спорта в Иркутске /размер в плане 42х42 м/, при сооружении которого ванной сваркой сварено около 500 узловых сопряжений стержневых элементов из труб со сплюснутыми концами;

2. Структурного покрытия выставочного павильона завода "Фрезер" /размер в плане 18х24 м/;

3. Нового здания Курского вокзала в Москве, при изготовлении железобетонного каркаса которого сварено ванным способом свыше 2500 стыков арматуры диаметром 40 мм.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кузнечиков О.В., Новое о ванной сварке арматуры железобетонных конструкций, Вторая конференция по сварке в строительстве, Материалы секции II "Сварка арматуры железобетонных конструкций", Стройиздат, М., 1966г.

2. Бродский А.А., Евстратов Г.И., Кузнечиков О.В., Гимерверт Ж.М., Ванная сварка арматуры в съемных формах, "Строитель", № 2, 1968 г.

3. Кузнечиков О.В., Бродский А.А., Полуавтоматическая сварка под флюсом вертикальных стержней арматуры, "Сварочное производство", № 6, 1969 г.

4. Кузнечиков О.В., Выбор сварочного оборудования для полуавтоматической ванной сварки стержней арматуры на монтаже, Сборник "Овершенствование организации труда сварщиков в промышленности и строительстве", Материалы к республиканской конференции, ноябрь 1968 г., г.Вильнюс.

5. Кузнечиков О.В., О применении графитовых форм для ванной сварки арматуры железобетонных конструкций, Сборник докладов на III конференции по сварке в строительстве, Стройиздат, М., 1970 г.

6. Кузнечиков О.В., Выбор способа сварки и рационального конструкторско-технологического решения сопряжений в узлах трубчатых пространственных структурных покрытий, Сборник докладов на третьей конференции по сварке в строительстве, Стройиздат, М., 1970 г.

7. Трофимов В.И., Кузнечиков О.В., Дукарский К.М., Монтаж и сварка узлов сопряжений трубчатых элементов структурного покрытия, "Монтажные и специальные работы в строительстве", № 3, 1972 г.

8. Трофимов В.И., Диденко В.Н., Третьякова Э.В., Кузнечиков О.В., Алпатов М.Д., Ларионов Н.Н., Стержневые покрытия типа структур для промышленных зданий, "Промышленное строительство", № 8, 1972 г.

9. Кузнечиков О.В., Ванная сварка узлов сопряжений решетчатых покрытия из трубчатых элементов, Сварка в строительстве, Труды ЦНИИСК, Выпуск 15, Стройиздат, М., 1970 г.

10. Кузнечиков О.В., Гурова Г.Г., "Мундштук к сварочным горелкам для сварки плавящимся электродом", Авторское свидетельство ЦНИИСК № 338323, "Бюллетень открытий, изобретений, промышленных образцов, товарных знаков", № 16, 1972 г.

11. Бродский А.Я., Кузнечиков О.В., Составное формирующее устройство, Авторское свидетельство № 197827, "Бюллетень открытий, изобретений, промышленных образцов, товарных знаков", № 13, 1967 г.

12. Кузнечиков О.В., Евстратов Г.И., Гимерверт Е.М., Способ механизированной ванной сварки, Авторское свидетельство ЦНИИСК № 293665, "Бюллетень открытий, изобретений, промышленных образцов, товарных знаков", № 6, 1971 г.

13. Кузнечиков О.В., Способ образования соединительного узла пространственно расположенных стержней, Авторское свидетельство № 359352, "Бюллетень открытий, изобретений, промышленных образцов, товарных знаков", № 35, 1972 г.

14. Кузнечиков О.В., Трофимов В.И., Дукарский Ю.М., Способ образования соединительного узла пространственно расположенных стержней, Авторское свидетельство ЦНИИСК № 351985, "Бюллетень открытий, изобретений, промышленных образцов, товарных знаков", № 28, 1972 г.

15. Кузнечиков О.В., Способ образования соединительного узла пространственно расположенных стержней, Авторское свидетельство № 346057, "Бюллетень открытий, изобретений, промышленных образцов, товарных знаков", № 33, 1972 г.

16. Бродский А.Я., Гурова Г.Г., Дудеров Н.Г., Копейкин В.А., Кузнечиков О.В., Фридман А.М., Керамическая масса для изготовления форм, Авторское свидетельство № 413127, "Бюллетень открытий, изобретений, промышленных образцов, товарных знаков", № 4, 1974 г.