

М 417 483

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА

НА РИСУН
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

ЩЕМЕЛЁВ Евгений Васильевич

УДК 621.791 75

**РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
СВАРКИ В CO_2 НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ИНВЕРТОРНОГО
ТИПА**

(05.04.05 - Технология и машины сварочного
производства)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 1984

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - д.т.н., профессор ГЛАДКОВ Э.А.

Официальные оппоненты: Д.т.н., профессор МАЗЕЛЬ А.Г.

К.т.н., доцент СПИЦЫН В.В.

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного совета

Защита состоится " _____ " 1984 г. на заседании специализированного совета К053.15.03 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Ваш отзыв в 1 экз., заверенный печатью, просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией

ВТУ.

Автореферат

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
специализированного совета
д.т.н., пр.

Копия

ПОДПИСАНО К ПЕЧАТИ
ОТПЕЧАТАНО ПО
ИНФОРМАЦИИ.
ЗАКАЗ № 749.

ЭКЗ.
КОПИЯ

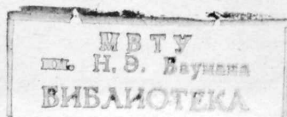
M417483

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В решениях XXVI съезда КПСС отмечается необходимость дальнейшего ускорения научно-технического прогресса, увеличения эффективности производства и улучшения качества выпускаемой продукции. В этом аспекте важное значение имеет разработка и внедрение новых перспективных технологических процессов и оборудования, в частности для дуговой сварки в среде CO_2 . Наибольшее распространение получил процесс сварки в CO_2 тонкой проволокой диаметром 0,8–1,4 мм, сопровождающийся частыми короткими замыканиями дугового промежутка. По своей физической природе настоящий процесс является импульсно-дуговым, а постоянная времени плавления металла достигает $2 \cdot 10^{-3}$ с. Для качественного управления процессом сварки в CO_2 необходима система автоматического управления, быстродействие которой на порядок превышало бы постоянную времени плавления электродного металла. Использование обычного источника питания (ИП) в качестве исполнительного элемента в системе автоматического управления не дает эффекта из-за небольшого его быстродействия, которое ограничено частотой питающей сети 50 Гц и составляет $2 \cdot 10^{-2}$ с. В результате не удается решить совокупность задач, способствующих улучшению таких технологических характеристик процесса сварки в среде CO_2 , как начальное возбуждение дуги, разбрызгивание металла, стабильность процесса, форма шва.

С развитием отечественной электронной промышленности появилась возможность реализации принципиально новых ИП для дуговой сварки, выполненных на основе высокочастотных преобразователей энергии (инверторов), благодаря чему их быстродействие повышается на два порядка, а масса понижается почти на порядок. Использование новых ИП в системе автоматического управления позволяет осуществить управляемый перенос электродного металла, активно воздействовать на электрогидродинамические процессы, протекающие в объеме сварочной ванны, управлять технологическими характеристиками процесса сварки в CO_2 , повысить качество сварного соединения.

В связи с этим разработка способов управления процессом сварки в CO_2 на основе применения ИП инверторного типа представляет собой актуальную задачу.



Работа выполнена в соответствии со сводным планом научно-исследовательских и технологических работ по сварочной науке и технике на 1983 год ГКНТ при Совете Министров СССР, раздел VI, тема 6 "Исследовать технологические возможности источников питания нового типа с широтно-импульсным и частотно-импульсным управлением процесса дуговой сварки".

Цель работы — улучшить технологических характеристик процесса сварки в CO_2 при помощи разработки способов управления процессом дуговой сварки с применением быстродействующих источников питания на базе высокочастотных инверторов с частотно-импульсным и широтно-импульсным управлением режима.

Задачи работы:

1. Исследование технологических свойств высокочастотной дуги и обоснование необходимости создания быстродействующих источников питания инверторного типа.

2. Статистическое исследование зависимостей между электрическими параметрами источников питания и технологическими характеристиками процесса сварки в CO_2 и последующая разработка количественных критериев для оценки сварочных свойств источников питания.

3. Разработка модели, связывающей электрические параметры источников питания и количественные критерии качества сварки в среде CO_2 .

4. Изыскание новых способов управления процессами дуговой сварки путем оптимизации электрических параметров и структуры источников питания инверторного типа.

5. Выявление преимуществ и новых технологических возможностей источников питания с высокочастотным преобразованием энергии.

Методы исследования. Использовались статистические методы обработки полученных результатов с применением теорий вероятностей и планирования эксперимента. Осциллографирование электрических параметров процесса производилось при помощи шлейфного регистрирующего осциллографа Н117. Для определения расхода электродной проволоки был использован фотоэлектрический датчик ДФ-IV4 с цифровым счетчиком импульсов ЦАТ-ЗМ. Проводились металлографи-

ческие исследования и фотосъемка сварочной дуги. Для определения оптимальных параметров низкочастотных импульсов применялся энергетический расчет. При установлении комплексного показателя качества сварки использовался метод экспертных оценок.

Научная новизна.

1. Теоретически и экспериментально обоснована возможность управления процессами в дуге и в сварочной ванне при сварке в CO_2 за счет двойной модуляции сварочного тока, где высокочастотная модуляция тока определяет свойства дуги, ее проплавливающую способность, а низкочастотная составляющая позволяет управлять процессами переноса электродного металла и формирования шва.

2. Благодаря промежуточному высокочастотному преобразованию энергии ИП инверторного типа обладает высоким быстродействием, которое позволяет формировать требуемые динамические свойства ИП. В результате стало возможным использовать инверторный ИП в качестве исполнительного элемента в системе автоматического регулирования процессом переноса электродного металла в дуге.

3. При помощи энергетического расчета, исходя из физических явлений в дуге и на конце электрода, установлены оптимальные параметры низкочастотных импульсов, необходимых для реализации управляемого переноса металла, и выявлена зависимость гиперболического характера между требуемой длительностью импульса, диаметром электродной проволоки и длиной вылета электрода.

4. С применением метода экспертных оценок разработан обобщенный показатель качества сварки, представляющий собой линейную комбинацию критериев, оценивающих: начальное возбуждение дуги, стабильность процесса сварки, потери металла на разбрызгивание и угар, форму шва.

Практическая ценность работы

1. Обоснована необходимость создания источника питания на базе высокочастотного резонансного инвертора и намечены новые способы управления процессом дуговой сварки.

2. Разработаны количественные критерии качества сварки. Установлена их модельная связь с электрическими параметрами источ-

ников питания (ИП), что позволило определить оптимальные комбинации электрических параметров ИП.

3. Разработана и создана экспериментальная установка, позволяющая оперативно исследовать ИП по разработанным критериям качества сварки.

4. Определены оптимальные параметры импульсного тока и разработана схема автоматического регулирования длины дуги.

5. Разработано и изготовлено несколько макетов ИП инверторного типа, обладающих массой и габаритами в 6-9 раз меньшими, чем существующие. Новые источники отличаются наилучшими сварочными свойствами по комплексному безразмерному показателю качества сварки, а также по всем разработанным критериям качества сварки.

6. Первая опытно-промышленная партия инверторных источников питания будет изготовлена ПО Харьковэнергоремонт в 1984 году. Экономический эффект от внедрения одного нового источника только за счет экономии электроэнергии и повышения производительности труда составит 2,4 тыс. руб. в год.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на всесоюзной конференции "Разработка, исследование и внедрение новых источников питания сварочной дуги" (Вильнюс, 1981), научно-технических семинарах кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана (апрель и октябрь 1983 г.) и др.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и результатов по работе, списка литературы и приложения. Работа представлена на 183 страницах машинописного текста, включая 53 рисунка, 23 таблицы, 113 наименований использованных литературных источников и I приложение.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе произведен анализ современного состояния ИП для дуговой сварки в CO_2 , выявлены преимущества и необходимость создания ИП на базе высокочастотных инверторов.

Для получения качественного сварного соединения ИП дуги должны обладать хорошими сварочно-технологическими свойствами (характеристиками), а также высокими технико-экономическими показателями. Технологические характеристики процесса сварки в основном определяются статическими и динамическими свойствами

ИП. Выпускаемые отечественной промышленностью ИП для сварки в CO_2 обладают достаточно высокой энергоёмкостью, значительными габаритами и массой. Их недостаточное быстродействие, ограниченное частотой питающей сети, на порядок меньше постоянной времени процессов плавления электродного металла, что не даёт эффекта при использовании этих источников в качестве исполнительных элементов в системах автоматического управления. Поэтому не удается решить совокупности проблем, свойственных для сварки в CO_2 и заключающихся в плохом возбуждении дуги, повышенном разбрызгивании металла, нестабильности процесса, некачественном формировании шва.

На современном уровне электронной промышленности появилась возможность создания ИП для дуговой сварки на базе высокочастотных преобразователей энергии инверторного типа. Как известно, повышение частоты преобразования в n раз даёт возможность уменьшения линейных размеров, а следовательно и массы трансформаторов в $\sqrt{n}$ раз. Таким образом, повышение частоты трансформирования от 50 Гц до 5 кГц, т.е. в 100 раз, позволяет уменьшить массо-габаритные показатели сварочных трансформаторов в 10 раз и повысить их быстродействие на два порядка, что позволяет решать вопросы управления быстротечными процессами в дуге при формировании дугового разряда, переносе расплавленного металла и взаимодействии капель металла с расплавом ванны. В результате исследований И.В.Пентегова, Э.А.Гладкова, В.В.Смирнова, О.Н.Братковой, И.А.Гуслистова, М.И.Закса, Н.Г.Синельникова, Н.А.Юхина, С.В.Уткина и др. в нашей стране, а также ряда зарубежных авторов определены схемные решения высокочастотных источников питания, установлены их улучшенные электрические характеристики ($\eta=80-90\%$, $\cos\varphi=0,99$). По литературным источникам имеются сведения, что применение источников инверторного типа повышает производительность труда и улучшает качество сварки. Литературный обзор показал, что ученые и ведущие фирмы различных стран уделяют большое внимание исследованиям и разработкам высокочастотных ИП дуги на базе тиристорных и транзисторных инверторов. К современным ИП уже предъявляются требования как к исполнительным элементам систем автоматического управления.

На основе анализа существующих схем автономных инверторов выбрана схема последовательного резонансного инвертора, позволяющая достигнуть предельной частоты преобразования 10-24 кГц,

что обеспечивает снижение уровня шума до минимума, излучаемого высокочастотным трансформатором и сварочной дугой.

До настоящего времени не существует количественной методики для комплексной оценки сварочных свойств и выявления преимуществ ИП при дуговой сварке плавящимся электродом в среде CO_2 .

В соответствии с изложенным сформулированы основные задачи работы.

Вторая глава посвящена улучшению технологических характеристик процесса сварки в CO_2 путем оптимизации выбора электрических параметров и структуры источника питания инверторного типа.

Исходя из проведенного анализа дефектов сварных швов при сварке в среде CO_2 , установлено, что большинство как производственных, так и эксплуатационных дефектов появляются вследствие нарушения оптимальных энергетических параметров режима сварки в результате различных возмущений. Применение быстродействующих источников питания инверторного типа с обратными связями по току и напряжению позволяет эффективно, а главное – своевременно подавить вредное действие контролируемых возмущений и таким образом значительно уменьшить количество дефектов в сварных швах.

Исходя из того, что процесс сварки в CO_2 с короткими замыканиями является случайным эргодическим процессом, при помощи теории вероятностей определено необходимое и достаточное время реализации для достоверного определения электрических параметров переходных процессов, которое составляет около 3 секунд. В результате статистического исследования параметров переходных процессов и их влияния на технологические характеристики процесса сварки определены объективные критерии, позволяющие количественно оценить: начальное возбуждение дуги ($\dot{t}$), стабильность сварочного процесса (K_t), потери металла на разбрызгивание и угар (K_p), качество формирования шва (Ψ). Известен критерий оценки начального возбуждения дуги по среднему количеству обрывов сварочной дуги во время стабилизации сварочного процесса. Однако, среднее число обрывов сварочной дуги не является достоверным показателем начального возбуждения дуги, т.к. экспериментально установлено, что за равное время стабилизации сварочного процесса возможно различное количество обрывов сварочной дуги. Поэтому в качестве критерия начального возбуждения дуги выбиралось среднее время переходного процесса ($\dot{t}$ стабилизации дуги),

т.е. среднее время от первоначального короткого замыкания до установившегося процесса сварки. Для количественной оценки стабильности сварочного процесса введен коэффициент вариации длительности горения дуги, который хорошо согласуется с коэффициентом, определяющим качество формирования шва, и численно равен:

$$K_{\tau} = \frac{\sigma(\tau_a)}{M(\tau_a)},$$

где $\sigma(\tau_a)$ и $M(\tau_a)$ – среднее квадратическое отклонение и математическое ожидание времени горения дуги.

Оценка потерь металла на разбрызгивание и угар производилась по известной методике взвешивания. При сопоставлении значений математических ожиданий амплитуд токов коротких замыканий $M(I_k)$ с коэффициентом разбрызгивания K_p выявлена высокая корреляция между этими величинами. Коэффициент K_p можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$K_p = 0,65 \sqrt{M(I_k) - I_a}.$$

При использовании обычных ИП изменение каких-либо параметров сварочной цепи, например, индуктивности, непременно приводит к изменению как минимум трех параметров переходных процессов: амплитуды, времени и фронта нарастания тока короткого замыкания. Поэтому нельзя однозначно определить, какой именно параметр переходного процесса вызывает изменение технологических характеристик процесса сварки (например, разбрызгивание жидкого металла), а какой параметр является следствием. Использование высокочастотного ИП инверторного типа, благодаря быстродействующим обратным связям по току и напряжению, позволяет регулировать частоту преобразования инвертора и тем самым изменять величину одного параметра при неизменных других параметрах переходных процессов, что дает возможность изучения их влияния на технологические характеристики сварки.

С применением теории планирования эксперимента разработана модель, связывающая электрические параметры источников питания и объективные критерии качества сварки:

$$t = 0,50 - 0,20 x_1 - 0,21 x_2 + 0,08 x_2 x_3;$$

$$K_{\tau} = 0,65 - 0,06 x_2 - 0,05 x_3 - 0,032 x_1 x_4;$$

$$K_p = 7,40 - 0,50 x_2 - 0,68 x_3;$$

$$\Psi = 0,288 - 0,017 x_1 - 0,019 x_3 + 0,007 x_2 x_3 x_4 ;$$

$$x_1 = \frac{U_a - 22}{2} ; x_2 = \frac{I_a - 150}{40} ; x_3 = \frac{L - 0,3}{0,2} ; x_4 = \frac{R - 0,025}{0,015} ,$$

где U_a , I_a – напряжение и ток дуги; L , R – индуктивность и активное сопротивление сварочной цепи.

Используя уравнения регрессии модели, можно определить оптимальные электрические параметры источников питания по каждому критерию качества сварки.

На основе метода экспертных оценок получена модель качества сварки в среде CO_2 , в которую входят все четыре критерия качества сварки. Используя предложенную методику, можно оценить сварочные свойства источника питания по одному комплексному показателю K'_c , а задачу оптимизации процессов сварки (выбора оптимальных электрических параметров источников питания) свести к отысканию его минимума:

$$K'_c = 0,40 \Psi' + 0,24 K'_t + 0,21 t' + 0,14 K'_p ,$$

$$\text{где } t' = 10t ; K'_t = 3,33 + 13,33 K_t ; K'_p = K_p ; \Psi' = -14 + 66,67 \Psi .$$

Установлено, что источник питания инверторного типа должен обладать сложной статической вольтамперной характеристикой (ВАХ). Высокое напряжение холостого хода и падающий участок обеспечивают хорошее начальное и повторное возбуждения дуги, а также устойчивое ее горение в промежутках времени между короткими замыканиями. Ток короткого замыкания имеет ограничение по амплитуде за счет штыкового участка ВАХ, что уменьшает потери металла на разбрызгивание. Рабочим участком в этом случае является жесткий наклон, обеспечивающий эффективность процесса саморегулирования по скорости плавления. При помощи обратных связей по току и напряжению с высоким быстродействием можно регулировать наклоны отдельных участков вольтамперной характеристики источника и таким образом управлять технологическими характеристиками процесса сварки.

В третьей главе рассмотрен импульсный способ управления процессом сварки в CO_2 на основе применения источников питания инверторного типа.

Для ведения импульсно-дугового процесса плавящимся электродом в защитном газе отечественной промышленностью разработаны универсальный импульсный выпрямитель ВДПИ-30I, генераторы импуль-

сов ИИП-1, ИИП-2, ГИД-1, работающие совместно со сварочными выпрямителями. Указанные источники питания можно использовать лишь в разомкнутой системе управления, т.к. посылаемое воздействие (амплитуда, длительность импульса) задается без учета регулируемого параметра, получаемого в результате управления (например, длины дугового промежутка). Высокое быстродействие как силовой схемы, так и схемы управления, позволяет использовать ИИ инверторного типа в качестве безынерционного исполнительного элемента в системе автоматического управления.

При сварке импульсным током частотой $F = 1 - 5$ Гц происходит затвердевание сварочной ванны перед каждым импульсом тока. Проплавляющая способность импульсной дуги может оказаться даже ниже, чем непрерывной. Поэтому применение импульсной дуги такой частоты эффективно лишь при сварке тонколистового металла.

При обычной импульсно-дуговой сварке частота импульсов равна частоте перехода жидких капель в сварочную ванну $F = 20 - 200$ Гц, а ток импульса больше тока непрерывной дуги, что обеспечивает более эффективное использование тепла на расплавление металла и расширяет возможности регулирования проплавляющей способности дуги.

Рассмотрим свойства сварочной дуги, питаемой импульсами тока частотой $12 - 25$ кГц и скважностью $Q = 2-6$. Во время импульса тока на катоде появляются следы эрозии - кратеры, которые образуются вследствие выплескивания жидкого металла с локальных участков поверхности катода. В результате образуется область расплавленного металла - катодное пятно, передвигающееся вслед за перемещением кратеров. При питании дуги мощными кратковременными импульсами радиусы кратеров увеличиваются, уменьшаются их подвижность и блуждание катодного пятна. В результате уменьшаются размеры катодного пятна, происходит контрагирование факела плазмы и увеличивается плотность энергии. Отсюда следует, что сварочная дуга, питаемая мощными кратковременными высокочастотными импульсами, в отличие от дуги постоянного тока является контрагированной. Время распада остаточной плазмы в открытой дуге, равное $100 - 1000$ мкс, почти на порядок больше промежутка времени между импульсами, что обеспечивает стабильное горение высокочастотной дуги. Таким образом, при повышении частоты следования высокочастотных импульсов, так же как при увеличении скважности импульсов (при соответствующем

увеличении амплитуды), повышается давление сварочной дуги, уменьшается величина жидкой прослойки под дугой и увеличивается глубина проплавления. Следовательно, путем изменения скважности, частоты и амплитуды импульсов можно управлять проплавляющей способностью высокочастотной дуги. Исследования, проведенные Н.Г.Синельниковым, С.В.Уткиным и рядом японских авторов выявили, что форма высокочастотной дуги весьма близка к эллипсоиду вращения. Киносъемка со скоростью 3000 кадров в секунду (С.В.Уткин) позволила определить вращение столба дуги относительно оси симметрии электрода и наиболее светящуюся область дуги, которая представляет собой часть спирали между электродом и центром сварочной ванны. Исходя из последнего, можно сделать вывод, что именно вращательная способность столба высокочастотной дуги повышает стабильность и устойчивость разряда, благодаря устойчивому положению катодного пятна в сварочной ванне. Изложенные теоретические предположения подтверждаются экспериментальными исследованиями отечественных и зарубежных исследователей. Многоплановые преимущества высокочастотной дуги вызывают объективную необходимость разработки источника питания нового типа, позволяющего питать сварочную дугу мощными импульсами высокой частоты порядка 10 – 25 кГц. Таким требованиям удовлетворяют источники питания с высокочастотным преобразованием энергии на базе автономных инверторов.

Высокое быстродействие новых источников позволяет активно вмешиваться в процессы плавления электродного металла, используя высокочастотный модулированный ток. Для качественного осуществления управляемого переноса металла расчетным путем определены оптимальные параметры низкочастотных импульсов. Расчет проводился исходя из физических явлений в дуге и на конце электрода, при помощи энергетического баланса: с одной стороны, энергия, необходимая для нагрева и плавления одной капли металла, диаметр которой равен диаметру электродной проволоки, с другой – энергия, подводимая к концу электрода дугой и проходящим током одного импульса в вылете электродной проволоки и капле жидкого металла. В результате выявлена взаимосвязь между необходимой длительностью импульса τ , (с), диаметром электродной проволоки d , (мм) и длиной вылета электрода l_8 , (мм), которая имеет вид:

$$\tau = (2,72^d - 0,052 l_8) \cdot 10^{-3}.$$

Частота импульсов F зависит только от скорости подачи электродной проволоки V_n (сварочного тока) и диаметра электродной проволоки:

$$F = 1,5 V_n \cdot d^{-1}.$$

При использовании этих зависимостей в предлагаемой схеме автоматического регулирования с использованием инверторного источника питания стабилизируется общее количество тепла, подводимого к концу электрода, стабилизируется длина дуги, которая практически не зависит от колебания длины вылета электрода, т.е. от колебания сварочной горелки. Таким образом, использование предлагаемой схемы автоматического регулирования позволяет заменить обычный процесс сварки с короткими замыканиями на управляемый процесс с мелкокапельным переносом электродного металла короткой дугой с минимальным разбрызгиванием.

Четвертая глава посвящена практической реализации способов управления процессом сварки в CO_2 , улучшающих качество сварного соединения.

Для определения численных значений разработанных критериев качества сварки создана экспериментальная установка, позволяющая количественно оценивать:

- а) начальное возбуждение дуги;
- б) стабильность сварочного процесса;
- в) потери металла на разбрызгивание и угар;
- г) качество формирования шва.

В.ИИ инверторного типа для сварки в среде CO_2 реализована требуемая внешняя статическая характеристика сложной формы, при помощи которой можно управлять технологическими характеристиками процесса сварки в CO_2 .

Методом стробирующего анода установлено, что давление в центральной части высокочастотной импульсной дуги на 20% выше, чем у дуги постоянного тока, вследствие действия повышенной электромагнитной силы, которая в свою очередь определяется величиной амплитуды высокочастотных импульсов. В результате повышается проплавливающая способность высокочастотной дуги, интенсивность перемешивания жидкого металла увеличивается, улучшаются условия теплоотдачи и повышается мелкозернистость сварочного шва, что подтверждено металлографическими исследованиями.

Основные дефекты при сварке встык на весу в среде CO_2 — прожоги, причиной которых является слишком большая энергия, выделяющаяся при коротких замыканиях междугового промежутка.

В результате обработки осциллограмм тока и напряжения выявлено, что значения средних мощностей коротких замыканий от ИП инверторного типа и обычного ИП относятся как 1 : 5, что позволило предположить о формировании стыкового шва на весу без прожогов в случае применения ИП инверторного типа. Ограниченная мощность короткого замыкания, особенно в заключительной его стадии, уменьшает энергию взрыва жидкой перемычки, что способствует уменьшению разбрызгивания жидкого металла. Результаты экспериментов показали хорошее формирование стыкового шва на весу и сокращение потерь металла на разбрызгивание до 5%.

Для определения степени контрагирования высокочастотной дуги в сравнении с дугой постоянного тока проводилось фотографирование свободно горящих дуг в среде аргона при различных длинах междугового промежутка. Установлено, что высокочастотная дуга, питаемая инверторным источником, в отличие от дуги, питаемой мощными кратковременными импульсами высокой частоты, не является контрагированной, т.к. наличие индуктивности, необходимой для устойчивой работы инвертора, обуславливает постоянную оставляющую высокочастотного тока, и размеры катодного пятна остаются неизменными. Вольтамперная характеристика высокочастотной дуги в отличие от дуги постоянного тока — абсолютно жесткая, без характерных изгибов в диапазоне малых и больших токов. Длина разрывной дуги в случае использования инверторного источника питания повышается на 25%, что говорит о большей устойчивости последней и возможности ее применения в различных пространственных положениях.

Для выявления технологических возможностей источников питания нового типа проводились испытания в сравнении с наиболее распространенными отечественными источниками для сварки в среде CO_2 . Эксперименты показали, что быстродействующий источник питания инверторного типа обладает наилучшими сварочными свойствами по всем четырем критериям качества сварки, а также по комплексному показателю качества сварки K_c .

В ИП инверторного типа реализована двойная модуляция импульсного тока. Установлено, что путем повышения амплитуды и скважности высокочастотных импульсов тока частотой 10 — 24 кГц

можно увеличивать глубину проплавления при том же значении эффективного сварочного тока, а путем изменения огибающей этих пульсаций, имеющих частоту 90 - 225 Гц - управлять переносом электродного металла. При этом повышается стабильность процесса сварки, а потери металла на разбрызгивание уменьшаются до 2%.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Существующие источники питания (ИП) для дуговой сварки не удовлетворяют возросшим требованиям качества сварки. Невысокое быстродействие не позволяет использовать их для управления процессами, протекающими в дуговом промежутке. В связи с этим обоснована необходимость создания ИП с промежуточным высокочастотным преобразованием, быстродействие которого позволяет формировать требуемые статические и динамические свойства ИП, управлять процессами в дуге и сварочной ванне с помощью практически безынерционных цепей обратных связей. Установлено, что высокочастотная пульсация тока ($F = 10-24$ кГц) в таком источнике питания изменяет свойства дуги, ее проплавляющую способность, а низкочастотными импульсами тока ($F = 90-225$ Гц) можно управлять процессом переноса электродного металла и процессом формирования шва.

2. На базе статистического исследования процесса сварки в среде CO_2 разработаны количественные критерии для оценки сварочных свойств источников питания. Установление их модельной связи с электрическими параметрами ИП позволило определить оптимальные комбинации электрических параметров ИП, доставляющих минимум значения обобщенного критерия, по которому комплексно оценивается качество сварки.

3. Исходя из физических явлений в дуге и на конце электрода, при помощи энергетического расчета обоснована эффективность использования импульсного способа управления процессом переноса электродного металла. Определены оптимальные параметры импульсов при управляемом переносе электродного металла, выявлена взаимосвязь между необходимой длительностью импульса, диаметром электродной проволоки и длиной вылета электрода. Эта зависимость положена в основу построения системы автоматического регулирования процессом сварки, обеспечивающей мелкокапельный перенос электрод-

ного металла путем поддержания оптимальной длительности импульса при колебании длины вылета электрода.

4. Разработан способ управления технологическими характеристиками процесса сварки путем формирования трех различных участков вольтамперной характеристики (ВАХ) ИП инверторного типа с помощью малоинерционных цепей обратных связей по току и напряжению. Высокое напряжение холостого хода на первом участке ВАХ обеспечивает хорошее начальное и повторное возбуждение дуги, штыковой участок ВАХ ограничивает амплитуды токов коротких замыканий, что уменьшает разбрызгивание металла, а стабилизированный жесткий участок, являясь рабочим, обеспечивает эффективность процесса саморегулирования при сварке.

5. Установлено, что давление в центральной части высокочастотной импульсной дуги выше, чем у дуги постоянного тока. Поэтому уменьшается жидкая прослойка под дугой и увеличивается глубина проплавления. При этом скорость выталкивания жидкого металла из-под дуги увеличивается, способствуя более интенсивному его перемешиванию, улучшаются условия теплоотдачи и повышается мелкозернистость сварочного шва.

6. В случае применения инверторного источника питания для сварки в среде CO_2 мощность коротких замыканий уменьшается в 5 - 10 раз за счет мгновенного нарастания и спада тока короткого замыкания, что исключает появление прожогов при сварке встык на весу, а ограниченная энергия взрыва жидкой перемычки уменьшает потери металла на разбрызгивание.

7. В результате экспериментальных исследований установлено, что высокочастотная сварочная дуга, по сравнению с дугой постоянного тока, отличается повышенной пространственной устойчивостью, улучшенным начальным и повторным возбуждением. При этом повышается стабильность процесса сварки, улучшается качество формирования шва.

8. ИП инверторного типа с оптимально подобранными электрическими параметрами, а также с реализованной при помощи обратных связей по току и напряжению ломаной ВАХ, обладает наилучшими сварочными свойствами по комплексному безразмерному показателю качества сварки K_c и по всем четырем объективным критериям качества сварки, определяющим начальное возбуждение дуги, стабильность сварочного процесса, потери металла на разбрызгивание.

вание и угар, качество формирования шва.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны количественные критерии, позволяющие объективно оценить: начальное возбуждение дуги, стабильность сварочного процесса, потери металла на разбрызгивание и угар, качество формирования шва.

2. Для комплексной оценки качества сварки разработан обобщенный безразмерный критерий, представляющий собой линейную комбинацию критериев, оценивающих начальное возбуждение дуги, стабильность процесса сварки, потери на разбрызгивание, форму шва.

3. В результате проведенного литературного обзора и изучения переходных процессов при сварке в CO_2 обоснована необходимость создания источников питания на базе высокочастотного последовательного резонансного инвертора и намечены новые способы управления процессом дуговой сварки.

4. Разработано и изготовлено несколько макетов быстродействующих источников питания на базе высокочастотных последовательных резонансных инверторов с предельной частотой преобразования 10-24 кГц.

5. Создана экспериментальная установка, позволяющая оперативно исследовать источники питания по разработанным критериям качества сварки.

6. Разработана схема автоматического регулирования с обратными связями с использованием новых источников питания для сварки в CO_2 , позволяющая заменить обычный процесс сварки с короткими замыканиями на мелкокапельный управляемый процесс переноса электродного металла короткой дугой с минимальным разбрызгиванием.

7. Экономический эффект от внедрения одного ИП инверторного типа за счет экономии электроэнергии и повышения производительности труда составит 2,4 тыс.руб. в год.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

I. Источники питания для ручной и механизированной сварки в

монтажных условиях / Н.А.Юхин, В.Е.Белов, Е.В.Щемелев, А.А.Текутьев. - Обзорная информация. - М.: ЦЕНТИ МИНМОНТАЖ-СПЕЦСТРОЯ, 1982, вып. 4. - 20 с.

2. Щемелев Е.В., Ойзерман А.В. Сварочные источники питания на базе высокочастотных инверторов.-Разработка, исследование и внедрение новых источников питания сварочной дуги: Тез. докл. Всесоюзн. научно-техн.конф. - Вильнюс, 1981, ч.1, с. 74-77.
3. К расчету блока управления для тиристорных источников питания сварочной дуги / А.В.Ойзерман, Е.В.Щемелев, В.Г.Чайка и др. - Вильнюс, 1983. - 9 с. - Рукопись представлена ЛитНИИНТИ. Деп. в ЛитНИИНТИ 2 февр. 1983, № 1012 Ли-Д83.
4. Источники питания дуговой сварки для строительно-монтажных работ / Е.В.Щемелев, А.А.Текутьев, Н.А.Юхин, И.А.Гуслистов. - В кн.: Монтаж и сварка резервуаров и технологических трубопроводов. - М.: ВНИИМонтажспецстрой, 1983, с. 181-187.
5. Щемелев Е.В. Управление переносом жидкого металла при сварке в среде CO_2 , используя источник питания на базе высокочастотного преобразователя. - В сб.: Теория системы и ее применения. - Вильнюс, 1983, с. 187-192. - Рукопись представлена ЛитНИИНТИ. Деп. в ЛитНИИНТИ 2 февр. 1983, № 1019 Ли-Д83.
6. Щемелев Е.В. Определение оптимальных параметров формы тока при импульсно-дуговой сварке в защитных газах плавящимся электродом. - Вильнюс, 1983. - 7с? - Рукопись представлена ЛитНИИНТИ. Деп. в ЛитНИИНТИ 30 июня 1983, № 1078 Ли-Д83.

Е. Мин

