

М434062
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

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

УДК 621.791.75.037

На правах рукописи

ШАЛОВАЛОВ Владимир Андреевич

Разработка источника питания трехфазной дуги,
обеспечивающего повышение качества сварных
соединений из алюминиевых сплавов.

Специальность 05.03.06 – 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 1985

Работа выполнена в Тольяттинском политехническом институте (ТПИ).

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
СТОЛБОВ В.И.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
ПЕТРОВ А.В.

кандидат технических наук
ЛЕПП В.Р.

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного
Совета

Защита диссертации состоится "27" *февраля* 1986 года в
часов на заседании специализированного Совета Д.053.15.07 при
Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции, ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени
Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в I-м экземпляре, заверенный печатью
просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИТУ им. Н.Э.
Баумана.

Автореферат

Ученый
специалист
доктор технических наук

ИДКОВ

M.434062

Л - 8772
Подписан
Зак. № 13

Л.
а

Актуальность работы. В настоящее время все более широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства находят сварные конструкции из алюминия и его сплавов. В судостроении изготовление длинномерных полотно корпусов и надстроек судов осуществляется посредством сварки стыковых соединений листов, плит, панелей толщиной от $2 \cdot 10^{-3}$ до $20 \cdot 10^{-3}$ м. В связи с увеличением объема выпуска таких конструкций осуществляется переход к производству их на механизированных сборочно-сварочных поточных линиях. Работа таких линий будет эффективной лишь в случае применения прогрессивной однопроводной сварки стыковых соединений без разделки кромок. Применяемые судостроительными предприятиями способы сварки как плавящимся, так и неплавящимся электродом в аргоне не удовлетворяют выше перечисленным требованиям.

В работах В.И.Столбова, Б.Л.Тайца и др. показано, что сварка трехфазной дугой неплавящимися электродами в аргоне позволяет получать за один проход без разделки кромок качественные стыковые соединения из алюминия и его сплавов толщиной от $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $30 \cdot 10^{-3}$ м.

Однако применение этого способа сварки на механизированных сборочно-сварочных поточных линиях сдерживается из-за того, что выпущенные ранее промышленностью источники питания трехфазной дуги типа ИТД не обеспечивали необходимой скорости нарастания тока при смене полярности, то есть синусоидальной формы кривых линейных токов. В результате было нестабильным горение дуги, качество сварных соединений снижалось. Эти обстоятельства, а также низкая надежность при эксплуатации, большой вес и габаритные размеры источников типа ИТД сделали необходимым разработку простого и надежного источника питания трехфазной дуги для сварки алюминия и его сплавов толщиной от $2 \cdot 10^{-3}$ до $20 \cdot 10^{-3}$ м, обеспечивающего необходимые технологические требования.

Цель работы. Повышение качества сварных соединений длинномерных полотно из алюминиевых сплавов путем создания источника питания трехфазной дуги, обеспечивающего технологические требования.

Методы исследования включали экспериментальное изучение процессов стабильного и нестабильного режимов горения трехфазной

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1434062

Шаповалов В.А. Разработка и

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

М 434 062

дуги и разработанного оборудования, математическое и графо-аналитическое моделирование изменения токов отдельных дуг трехфазного факела во времени, статистический анализ и обработку экспериментальных результатов для определения эмпирических формул зависимостей напряжений отдельных дуг от токов этих дуг и реактивного сопротивления кольцевого трансформатора от числа витков в обмотках и расстояния между ними; испытания сварных соединений по стандартным методикам.

Научная новизна работы. На основании проведенных исследований установлено, что искажение формы кривых линейных токов в электродах снижает величину тока межэлектродной дуги $W-W$ в 2...3 раза, в результате чего нарушается стабильность повторных возбуждений зависимых дуг $W-A_2$, что приводит к увеличению пор в сварном шве в 3...5 раз, опасных включений в 2,5...3,5 раза и снижает предел прочности стыковых соединений при испытании на статическое растяжение на $I_4...I_7\%$.

Научная ценность работы заключается в:

- а) установлении влияния стабильности горения трехфазной дуги на качество сварного шва;
- б) разработке методики, позволяющей расчетным путем определять фазные токи отдельных элементарных дуг трехфазного факела в любой момент времени;
- в) установлении зависимости стабильности повторных возбуждений элементарных дуг $W-A_2$ от формы кривых линейных токов трехфазной сварочной цепи;
- г) определении формы статических вольт-амперных характеристик отдельных дуг трехфазного факела;
- д) установлении зависимости реактивного сопротивления рассеяния трансформатора с кольцевым магнитопроводом от количества витков в обмотках и их взаимного расположения.

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, подтверждены результатами экспериментальных исследований, включающих определение реактивного сопротивления рассеяния сварочного трансформатора с кольцевым магнитопроводом, стабильности повторных возбуждений зависимых дуг $W-A_2$ на натуральных образцах разработанного оборудования и изучении процесса формирования шва при сварке длинномерных полотнищ от $2 \cdot 10^{-3}$ до $20 \cdot 10^{-3}$ м без разделки кромок за один проход трехфазной дугой неплавящимися элект-

родами в среде защитного газа аргона.

Практическая ценность. Разработана оригинальная конструкция трехфазного сварочного трансформатора с витым кольцевым магнитопроводом и методика расчета его основных параметров с достаточной для практики точностью. На базе трансформатора с кольцевым магнитопроводом разработана новая серия источников питания трехфазной дуги типа УДТ, опытная партия которых выпущена на СВПО "Трансформатор".

Внедрение результатов работы. Опытные образцы источников питания прошли эксплуатационные испытания в Центральном научно-исследовательском институте технологии судостроения и рекомендованы к внедрению в составе механизированных поточных линий по сборке-сварке полотнищ корпусов и надстроек судов.

Разработанные источники нашли также применение при ремонте крупногабаритных конструкций из алюминиевых сплавов и восстановлении изношенных деталей из сплавов на основе алюминия в сельхозтехнике и внедрены на машиностроительных заводах.

Общий годовой экономический эффект от внедрения составил 217 тыс. рублей.

Публикация результатов и апробация работы. Результаты работ отражены в 6 статьях, авторском свидетельстве на изобретение.

Основные положения диссертации докладывались на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана, на научном семинаре кафедры "Оборудование и технология сварочного производства" ТПИ, отдельные разделы работы докладывались на I Всесоюзной конференции по сварке легких, цветных и тугоплавких металлов и сплавов (г.Киев, 1978 г.), юбилейной У Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции (МВТУ им.Н.Э.Баумана г.Москва, 1979 г.), II Всесоюзной конференции по сварке цветных металлов (г.Ташкент, 1982 г.).

Источник питания типа УДТ-313 экспонировался на ВДНХ, юбилейной выставке, посвященной 50-летию ИЭС им.Е.О.Патона, Международной ярмарке в г.Лейпциге (ГДР) в 1985 году.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, общих выводов и приложения. Содержание работы изложено на 203 страницах машинописного текста, включает 1 рисунок и 19 таблиц. Список литературы содержит 98 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе по литературным данным проведен анализ факторов, влияющих на формирование шва и качество стыковых соединений при сварке длинномерных полотнищ из алюминиевых сплавов толщиной от $2 \cdot 10^{-3}$ до $20 \cdot 10^{-3}$ м. Показано, что применяемые способы — аргоно-дуговая сварка плавящимся и неплавящимся электродом постоянным током прямой и обратной полярности и однофазным переменным током промышленной частоты, асимметричным разнополярным током с регулированием длительности и формы кривой сварочного тока — не всегда обеспечивают получение необходимого качества стыковых соединений. В этом случае часто возникает в сварном шве поры, окисные и вольфрамовые включения, грубая чешуйчатость, несплавление кромок.

Как установлено в работах Г.Д.Никифорова, М.Г.Крацера, В.И.Оботурова, И.Г.Моисеева о причинах образования этих дефектов является водород, основным источником которого является влага и окисная пленка, находящаяся на торцах свариваемых кромок и на поверхности присадочного материала.

В работах В.И.Столбова, Б.Л.Тайца, И.В.Вавулы, В.А. Иевлева показано, что более широкими технологическими возможностями обладает сварка трехфазной дугой неплавящимися электродами в среде защитного газа аргона, позволяющая сваривать листы толщиной от $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $30 \cdot 10^{-3}$ м за один проход без разделки кромок. Качество сварных соединений высокое — коэффициент прочности сварных соединений при статических нагрузках порядка 0,95...0,98. Производительность процесса по сравнению со сваркой на переменном токе неплавящимся электродом увеличивается в 3...5 раз.

Анализ выпускаемых ранее источников питания трехфазной дуги, рассмотренных в работах Г.П.Михайлова, Н.С.Сиунова, И.Я.Рабиновича, В.И.Столбова, Б.Л.Тайца, М.Б.Цукермана показал, что источники питания типа ЗСТ-ЗРСТ, ТТСД-1000, ТТС-400 имеют значительные эксплуатационные недостатки и низкие технико-экономические показатели и в настоящее время сняты с производства, а источники АДПТ-600, ИТД 600/1000, УДПТ-801 не обеспечивают во всем диапазоне регулирования синусоидальную форму кривых линейных токов в электродах и имеют низкую надежность при эксплуатации.

В работах Б.Е.Патона, А.В.Петрова, О.Н.Братковой показано, что искажение формы кривой сварочного тока снижает устойчивость го-

рения и коэффициент мощности однофазной дуги переменного тока. Поэтому можно предположить, что нарушение стабильности горения трехфазной дуги и снижение качества сварного шва также происходит из-за искажения формы кривых линейных токов в электродах. Но эти вопросы не изучены.

В соответствии с изложенным, в диссертационной работе были поставлены следующие основные задачи:

1. Определить зависимость качества сварного шва от стабильности горения трехфазной дуги.

2. Установить влияние параметров трехфазной сварочной цепи на стабильность повторных возбуждений отдельных дуг трехфазного факела.

3. Определить основные требования к источнику питания, обеспечивающие необходимые электрические характеристики дуги.

4. Разработать сварочный трансформатор, удовлетворяющий требованиям к источнику, и методику его расчета.

Вторая глава посвящена экспериментальному исследованию влияния стабильности горения трехфазной дуги и формы линейных токов в электродах на качество сварного шва.

При опытной проверке источника ИТД-600/1000 при сварке длинномерных образцов из сплава АМг61 толщиной от 3 до 14 мм за один проход без разделки кромок было установлено, что за время сварки происходит нарушение стабильности горения дуги от 2 до 6 раз. Как правило, в этих местах, отмеченных по ходу сварки, были обнаружены поры, окисные и вольфрамовые включения, непровары, трубчатая чешуйчатость. При нарушении стабильности горения трехфазной дуги, она обрывалась с образованием кратера. Дальнейшие исследования показали, что в местах образования дефектов происходит чередование стабильного и нестабильного режимов горения трехфазной дуги. В этот момент времени в трехфазном факеле горят: независимая дуга $W-W$ и зависимые дуги $W-A\bar{C}$ на прямой полярности. При этом выше перечисленные дефекты в сварном шве образуются вследствие того, что: отсутствует катодное распыление окисной пленки; снижается общая мощность трехфазной дуги на 40 ... 45%; нарушается гидродинамическая устойчивость жидкой ванны; скорость нарастания тока в электродах при чередовании стабильного и нестабильного режимов превышает критическую 30 А/с.

Влияние стабильности горения трехфазной дуги на качество

сварного шва исследовалось экспериментально. В силовую схему трехфазного сварочного поста в цепь "деталь" последовательно был включен тиристорный ключ, который обеспечивал чередование стабильного и нестабильного режимов горения трехфазной дуги с разной по времени длительностью.

Количественной оценкой качества сварных швов служили протяженность окисных включений и их дисперсность, определяемые по методике приведенной в работах И.Г.Моисеенко, В.И.Столбова, Е.М.Лапина, Н.Э.Черкасова, а также суммарный объем пор, определяемый с помощью гидростатического взвешивания образцов в воде и на воздухе по методике Г.Д.Никифорова.

Было установлено, что если время, в течение которого тиристорный ключ находится в закрытом состоянии, превышает 1 секунду, то трехфазная дуга обрывается с образованием кратера. После подварки кратера при стабильном горении дуги в этом месте образуются дефекты (поры, окисные включения, вольфрамовые включения, трещины, рыхлоты). Если время, в течение которого тиристорный ключ закрыт, не превышает 1 секунды, то наблюдается чередование стабильного и нестабильного режимов горения трехфазной дуги. При этом на лицевой поверхности шва образуется грубая чешуйчатость и наплывы, а в шве, окисные и вольфрамовые включения.

Металлографический анализ сварных швов показал, что в швах, выполненных при стабильном горении трехфазной дуги, поры и включения носят единичный случайный характер, количество и размеры которых находятся в допустимых пределах, а в швах, выполненных при чередовании стабильного и нестабильного режимов и где проводилась повторная подварка кратера, содержание пор увеличилось в 4...5 раз, окисных включений в 2,5...3,5 раза, что превышает допустимые нормы.

Предел прочности стыковых соединений при нарушении стабильности горения дуги на 14...17% ниже предела прочности стыковых соединений, сваренных стабильно горящей трехфазной дугой. Испытание на статическое растяжение образцов проводили по ГОСТ 6996-66 при снятых усилениях и проплаве швов. Угол загиба при этом практически не изменяется.

Исследовалось влияние формы кривых линейных токов трехфазной сварочной цепи на геометрические размеры шва через коэффициент формы $K_{\Phi} = I/I_{\text{ср.}}$. Определено, что для одного и того же действующего значения тока в электродах глубина шва H при $K_{\Phi} = 1,5$ на

22...25% меньше глубины, полученной при $K_{\text{д}} = I, II$ (синусоидальная форма линейных токов). Ширина шва при изменении $K_{\text{д}}$ изменяется незначительно. Таким образом, искажение формы кривых линейных токов в электродах снижает проплавляющую способность трехфазной дуги, тем самым снижая производительность процесса и увеличивая деформацию сварной конструкции.

В работе А.В.Петрова установлено, что стабильность однофазной дуги переменного тока при сварке алюминия и его сплавов неплавящимся электродом зависит от формы кривой сварочного тока и устойчивой работы импульсного стабилизатора дуги. Поэтому можно предположить, что нарушение стабильности горения трехфазной дуги также происходит из-за искажения формы кривых линейных токов трехфазной сварочной цепи, наблюдаемое при питании дуги от источников АДТ-600, ИТД-600/1000, УДТ-801 и ненадежной работы стабилизаторов.

В третьей главе рассматривались вопросы, связанные с обеспечением стабильного горения трехфазной дуги.

В работах К.К.Хренова, И.Я.Рабиновича, Т.М.Тиходеева установлено, что устойчивость горения дуги зависит от формы статической вольт-амперной характеристики и формы внешней вольт-амперной характеристики источника питания. Однако статические вольт-амперные характеристики отдельных элементарных дуг трехфазного факела не определялись по причине того, что фазные токи (токи отдельных дуг трехфазного факела) непосредственно измерить не удается.

Для определения статических ВАХ отдельных дуг и условий стабильных повторных возбуждений отдельных дуг в трехфазном факеле необходимо знать величину и характер изменения тока этих дуг в любой момент времени.

Известна методика расчета фазных токов по векторным диаграммам, предложенная Г.М.Каспржаком, в которой реальная нагрузка из трех дуг рассматривается как чисто активная нагрузка из линейных сопротивлений соединенных в треугольник. Но такое допущение соответствует реальному процессу лишь в первом приближении, не учитывая действительный характер изменения токов отдельных дуг трехфазного факела во времени.

С этой целью разработан графо-аналитический метод определения фазных токов по мгновенным значениям линейных токов по осциллограммам. Полный период тока i_a был разделен на 12 равных отрез-

ков и для каждой точки, отмеченной на оси времени, определены величины и полярность фазных токов (рис.1) согласно закону Кирхгофа для электрической цепи и с учетом особенностей горения трехфазной дуги, приведенных в работах Б.Е.Патона, О. Н. Братковой, Г.И.Лескова, И.В.Вавуло.

Установлено, что фазные токи имеют прерывистый характер. Длительность горения независимой дуги $W-W$ составляет $3,3 \cdot 10^{-3}$ с, а зависимых дуг $W-A\bar{B}$ $8,3 \cdot 10^{-3}$ с. Продолжительность паузы дуги $W-W$ $6,7 \cdot 10^{-3}$ с, а дуг $W-A\bar{B}$ $1,7 \cdot 10^{-3}$ с.

Разработанный графо-аналитический метод позволяет определять значения фазных токов при синусоидальных и искаженных формах кривых линейных токов в сварочной цепи. Действующие значения фазных токов определяли по известной формуле $I = \sqrt{1/T_0} \int i^2 dt$. Интеграл, при использовании графо-аналитического метода, вычисляли по формуле Симпсона.

Для определения формы статических вольт-амперных характеристик отдельных дуг трехфазного факела была проведена опытная сварка образцов из алюминиевых сплавов. Обработав полученные результаты с помощью математических методов получили, что напряжения на отдельных дугах зависят от токов этих дуг линейно:

$$U_{a\bar{a}d} = 5,65 + 0,018 I_{a\bar{a}d} ; \quad (1)$$

$$U_{b\bar{c}d} = 12,42 + 0,015 I_{b\bar{c}d} ; \quad (2)$$

$$U_{c\bar{a}d} = 12,52 + 0,014 I_{c\bar{a}d} . \quad (3)$$

и имеют пологовозрастающий вид в диапазоне изменения линейных токов в электродах от 70 до 500 А.

В работах Б.Е.Патона, А.В.Петрова, В.А.Троицкого, И.К. Походни, В.Ю.Арлаускаса, В.П.Дугина установлено, что стабильность горения дуги переменного тока зависит от параметров сварочной цепи, скорости нарастания напряжения в начале преддугового периода и скорости нарастания тока в конце преддугового периода, от величины тока дуги. Однако показатели стабильности горения дуги переменного тока полученные в этих работах, применять для оценки стабильности горения трехфазной дуги не целесообразно, так как токи отдельных дуг (как было установлено ранее) изменяются во времени прерывисто.

Установлено, что стабильность горения трехфазной дуги определяется стабильностью повторных возбуждений дуги "са" на обратной

полярности, когда катодом является изделие из алюминия или его сплавов ($W^+ - Al^-$), а ионизация дугового промежутка в этот момент времени поддерживается за счет горения межэлектродной дуги "ав" ($W - W$).

Б.Е.Патон в своих работах показал, что степень ионизации дугового промежутка можно оценивать пиком напряжения зажигания. При изучении повторных возбуждений дуги "са" исследовалась зависимость напряжения зажигания $U_{з.са}$ от тока межэлектродной дуги "ав". Установлено, что величина тока дуги "ав" зависит от формы кривых линейных токов, выраженной через коэффициент формы $K_\Phi = I/I_{ср.}$. При изменении K_Φ от 1,11 (синусоида) до 1,8 ток межэлектродной дуги $I_{max\ ав}$ уменьшается в 2,8 раза. Дальнейшие исследования показали, что ток $I_{max\ ав}$ равный 0,46...0,5 тока в электродах обеспечивает ионизацию дугового промежутка, необходимую для стабильного повторного возбуждения зависимой дуги "са" на обратной полярности, о чем свидетельствуют низкие пики напряжения $U_{з.са}$. При искажении формы линейных токов, ток дуги "ав" уменьшается и составляет 0,2...0,3 тока в электродах и не обеспечивает необходимой ионизации дугового промежутка между электродами и деталью.

Определен показатель стабильности повторных возбуждений отдельных дуг трехфазного факела

$$I_{max\ ав} / I_{max\ а} = 0,323 \exp[-17,1(K_\Phi - 1,11)^2] + 0,177 \geq 0,46, \quad (4)$$

который показывает, что стабильность обеспечивается при $K_\Phi = 1,11 \dots 1,2$. При $K_\Phi > 1,2$ стабильность нарушается, наступает чередование стабильного и нестабильного режимов горения трехфазной дуги или она обрывается и, как было установлено выше, снижается качество сварного шва.

На основании проведенных исследований были сформулированы основные требования к источнику питания, при которых обеспечивается стабильное горение трехфазной дуги:

1. Обмотки трансформатора должны быть соединены по схеме открытого треугольника, обеспечивая $K_T \approx 1,73$.

2. Форма линейных токов трехфазной сварочной цепи должна быть синусоидальная или близкая к ней ($K_\Phi = 1,11 \dots 1,2$).

3. Напряжения холостого хода источника питания должны быть не менее 65 Вольт ($U_{ххав} = U_{ххвс} - U_{ххса} = 65 \text{ В}$).

4. Внешние вольт-амперные характеристики источника питания должны быть крутопадающие ($dU/dI = 1,0 \dots 2,5 \text{ В/А}$).

Четвертая глава. Основным элементом в источниках питания сварочной дуги, определяющим форму сварочного тока, внешнюю вольт-амперную характеристику, металлоемкость, является силовой сварочный трансформатор.

Учитывая недостатки известных трансформаторов, разработана конструкция трехфазного сварочного трансформатора с витым кольцевым магнитопроводом (а.с. № 792306), обеспечивающая $K_T = 1,73$, синусоидальную форму линейных токов в электродах ($K_{\phi} = 1,11$), крутопадающую ВАХ ($du/dI = 1,0 \dots 2,6 \text{ В/А}$), имеющая меньше вес в 1,77 раза, габаритные размеры в 1,11 раза, потери активной мощности в 1,23 раза по сравнению с серийно выпускаемыми сварочными трансформаторами с шихтованными магнитопроводами и подвижными обмотками.

В работах Б.Е.Патона, Г.Н.Петрова показано, что одним из основных расчетных параметров сварочного трансформатора является реактивное сопротивление рассеяния X_K , определяющее предел регулирования сварочного тока, габаритные и энергетические показатели трансформатора. Известны ряд методов для расчета X_K : Роговского-Маркварда, Г.Н.Петрова, В.К.Лебедева и другие. Сравнительный анализ расчетных X_K , полученных по этим методикам, показал, что для расчета X_K трансформатора с кольцевым магнитопроводом наиболее предпочтительна методика, предложенная В.К.Лебедевым для трансформаторов с подвижными обмотками.

Установлено, что результаты расчета X_K трансформатора с кольцевым магнитопроводом, полученные по методике В.К.Лебедева, при минимальном расстоянии между обмотками ($\varepsilon \approx 0$) почти не отличаются от результатов, полученных экспериментально. Расхождение составляет менее 5%. При увеличении ε расхождение между расчетными и опытными данными увеличивается и при $\varepsilon_{\max}$ ошибка достигает 80%.

На основе методики для трансформаторов с подвижными обмотками и проведенных исследований нами получена эмпирическая формула для расчета реактивного сопротивления рассеяния X_K трансформаторов с кольцевым магнитопроводом.

$$X_K = X_0 + (0,181 \lg \varepsilon + 0,144) \cdot \omega_2^2 \sqrt{E} \cdot 10^{-4}, \quad (5)$$

где $X_0 = (X_{\text{окна}})_{\min} + (X_{\text{доб}})_{\min}$ — минимальное реактивное сопротивление, которое определяется по методике В.К.Лебедева при $\varepsilon \approx 0$; ω_2 — число витков во вторичной обмотке.

Экспериментальная проверка результатов расчета X_k по полученной формуле показала удовлетворительную сходимость расчетных и опытных данных.

Пятая глава. При разработке промышленного источника питания трехфазной дуги были проанализированы основные факторы, определяющие конструкцию источника питания.

Установлено, что для сварки малых толщин (до $2 \cdot 10^{-3}$ м) необходим высокоточный регулятор сварочного тока, средних ($3 \cdot 10^{-3} \dots 7 \cdot 10^{-3}$ м) и больших (свыше $7 \cdot 10^{-3}$ м) можно применять регуляторы более простой конструкции, допускающие небольшое изменение сварочного тока ($\pm 5\%$ от установленного). Целесообразно создавать многофункциональные источники питания на базе простейших регуляторов с использованием разработанных и освоенных в производстве унифицированных узлов и блоков в различных сочетаниях в зависимости от требований к сварочному оборудованию.

Разработана простая и надежная в эксплуатации электрическая схема источников питания серии УДТ (установка для дуговой сварки в среде защитных газов трехфазной дугой), обеспечивающая сварку как в ручном, так и в автоматическом режимах. На основании электрической схемы и с учетом особенностей конструкции сварочного трансформатора с кольцевым магнитопроводом разработана новая конструкция источника питания.

Установлено, что источники типа УДТ обеспечивают зажигание дуги с помощью промежуточной вставки за 0,02 с, а осциллятора — не более 1 с. Линейные токи в электродах и детали изменяются по синусоидальному закону во всем диапазоне регулирования сварочного тока, $I_{\max a} / I_{\max a} = 0,5$. Пики напряжения зажигания на зависимых дугах не превышают 30...40 В, что составляет $(1,2 \dots 2,2) U_a$. Напряжение холостого хода источника $U_{xka} = U_{xkc} = U_{xcsa} = 65 \dots 70$ В (действующее значение) превышают напряжение зажигания на зависимых дугах в 1,7...2,3 раза. Таким образом разработанные источники питания типа УДТ соответствуют предъявляемым к ним требованиям и, как было показано выше, обеспечивают стабильное горение трехфазной дуги во всем диапазоне регулирования сварочного тока.

Для определения режимов автоматической однопроходной сварки трехфазной дугой производили наплавки валиков с подачей присадочной проволоки на образцы размерами $\delta \times 0,8 \times 1,5$ м, где δ — свариваемая толщина образцов от $2 \cdot 10^{-3}$ до $20 \cdot 10^{-3}$ м.

Выбор оптимального режима сварки для каждой толщины произведен на основании изучения макро- и микроструктуры; на выбранных режимах сваривались контрольные стыки длиной 6 м. За время сварки нарушений стабильности горения дуги не было. Внешний вид швов и их геометрические размеры соответствовали требованиям ГОСТ 14806-80. Металлографический анализ показал, что в металле швов дефекты отсутствуют за исключением единичных пор в проплаве, количество и размеры которых находятся в допустимых пределах. Структура швов и околошовной зоны ме. зернистая с равномерным распределением β -фазы (Al_3Mg_2) и интерметаллидов в виде мелких обособленных друг от друга дезориентированных включений, расположенных как по границам, так и внутри зерен. Коэффициент прочности полученных стыковых соединений при статических нагрузках составляет 0,95...0,98 в отличие от 0,78...0,82 у соединений, полученных при нестабильно горящей трехфазной дуге и 0,87...0,95 у соединений, полученных при сварке однофазной дугой переменного тока неплавящимся электродом.

Шестая глава. Разработанные источники питания УДТ-3II и УДТ-63I прошли испытания и внедрены на машиностроительном заводе.

Испытания источников в заводских условиях показали, что они соответствуют техническому заданию на проектирование, обеспечивают легкое зажигание дуги в начале процесса и стабильное горение трехфазной дуги во всем диапазоне регулирования сварочного тока, просты и надежны в эксплуатации.

Опытные образцы источника питания типа УДТ-632 ($\eta = 100\%$) прошли предварительные эксплуатационные испытания в ЦНИИТС и рекомендованы к внедрению в составе механизированной поточной линии на сборке-сварке длинномерных полотнищ корпусов и надстройки судов.

Модификация источника УДТ-3II (для обеспечения гарантированной безопасности сварщика при работе в условиях повышенной опасности в электрическую схему источника введены три элемента отключения его от сети) внедрена на Тольяттинском пивоваренном заводе для ремонта алюминиевых танков большой емкости в цеховых условиях.

Источник питания УДТ-3I2, имеющий по сравнению с УДТ-3II, меньший вес (коэффициент весовой отдачи снизился с 0,48 до 0,41 кг/А) и конструктивные доработки, позволяющие улучшить условия

труда сварщика, прошел испытания и внедрен на машиностроительном заводе в г. Ленинграде для сварки кольцевых швов тел вращения из алюминиевых сплавов.

Седьмая глава. В разработанных источниках питания типа УДПТ, по сравнению с ранее выпускаемыми серийно ИТД-300/500 и ИТД-600/1000, за счет применения в них более совершенной конструкции сварочного трансформатора с витым кольцевым магнитопроводом снизились: затраты электротехнической стали в 1,7...1,9 раза; масса в 2,2...2,3 раза, габариты в 1,5...1,8 раза; коэффициент весовой отдачи ($K_{\text{в.отд}}$, кг/А) в 2,5...2,9 раза; повысился КПД в 1,2 раза. Кроме этого конструкция трансформатора позволила избавиться от трудоемкой ручной операции по шихтовке магнитопровода, заменив ее механизированной намоткой кольцевого магнитопровода.

Внедрение разработанных источников питания и типовой технологии для сварки алюминиевого сплава толщиной от $2 \cdot 10^{-3}$ до $20 \cdot 10^{-3}$ м трехфазной дугой позволило повысить качество сварных соединений и производительность труда, что обеспечило снижение себестоимости одного погонного метра шва в 1,3 раза. Увеличение КПД источника питания дает экономию электрической энергии 19000 квт.час в год на одну единицу оборудования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. На основании проведенного анализа установлено, что выпускавшиеся ранее источники питания трехфазной дуги из-за своих конструктивно-технологических недостатков, снижающих качество сварных соединений, сдерживают применение в промышленности высокопроизводительного способа сварки алюминиевых сплавов трехфазной дугой.
2. Искажение формы кривых линейных токов трехфазной сварочной цепи ($K_{\text{ф}} > 1,2$) снижает ток межэлектродной дуги $W-W$ более чем в 2 раза, что приводит к деионизации дугового промежутка между электродами и деталью и нарушению стабильности повторных возбуждений зависимых дуг $W-Ac$.
3. Нарушение стабильности горения трехфазной дуги приводит к горению зависимых дуг $W-Ac$ трехфазного факела только

на прямой полярности, что увеличивает в сварном шве содержание пор в 3...5 раз, окисных включений в 2,5...3,5 раза.

4. Предложены методики расчета фазных токов отдельных дуг трех фазного факела, учитывающие нелинейный характер нагрузки из трех дуг, горящих в определенной последовательности.
5. Предложена методика расчета трансформатора с кольцевым магнитопроводом, учитывающая кривизну реальной картины поля рассеяния между подвижными обмотками, которую невозможно заменить плоскопараллельной.
6. Стабильное горение трехфазной дуги для $K_T = 1,73$ возможно при изменении линейных токов трехфазной сварочной цепи по синусоидальному или близкому к нему законам, напряжениях холостого хода источника питания не менее 65 В и крутопадающих внешних вольтамперных характеристиках источника питания.
7. Трехфазный сварочный трансформатор с витым кольцевым магнитопроводом, защищенный авторским свидетельством, обеспечивает синусоидальную форму линейных токов, крутопадающие внешние вольтамперные характеристики, и имеет меньший вес, габаритные размеры, потери активной мощности по сравнению с ранее известными конструкциями сварочных трансформаторов.
8. Источники питания типа УДГТ обеспечивают легкое зажигание дуги в начале сварочного процесса и стабильное горение отдельных дуг трехфазного факела во всем диапазоне регулирования сварочного тока, что позволяет повысить качество сварных стыковых соединений из алюминиевых сплавов толщиной от $2 \cdot 10^{-3}$ до $20 \cdot 10^{-3}$ м на 31...35% при соблюдении технологии и режимов сварки.
9. Внедрение источников питания позволило снизить себестоимость одного погонного метра шва в 1,3 раза, уменьшить затраты дорогостоящей электротехнической стали на один источник до 132 кг, повысить КПД источника с 70% до 85%. Экономия электрической энергии при эксплуатации одного источника питания типа УДГТ-632 составляет 19000 кВт·час в год. Годовой экономический эффект составил 217 тыс. рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. О путях развития источников питания для сварки трехфазной дугой /Р.А.Цепенев, В.И.Столбов, Г.М.Короткова, В.А. Шаповалов -

Актуальные проблемы сварки цветных металлов: Тез.доклада I Всесоюзной конференции, - Киев, 1980, с.164-167.

2. Об управлении сварочным током в источниках питания трехфазной дуги /В.И.Столбов, В.А.Шаповалов, Р.А.Цепенев, Г.М.Короткова - Сварочное производство, 1982, № 10, с.24-25.

3. Цепенев Р.А., Короткова Г.М., Шаповалов В.А. Определение фазных токов факела трехфазной дуги - Депонированные научные работы / ВИНТИ, 1984, №5, с.128.

4. Опыт применения сварки трехфазной дугой для ремонта алюминиевых сосудов большой емкости /В.И.Столбов, Ю.Ф.Зотов В.А.Шаповалов, В.М.Никулин - Сварочное производство, 1984, № 3, с. 32-33.

5. Столбов В.И., Короткова Г.М., Шаповалов В.А. Источник питания для сварки трехфазной дугой - Автоматическая сварка, 1983, № 4, с.74-75.

6. Короткова Г.М., Шаповалов В.А., Абросимов С.М. Универсальная установка УДГТ-312У2 для дуговой сварки - Информ.листок /МЦНТИ (Куйбышев), 1984, № 174 - 84.

7. Шаповалов В.А., Короткова Г.М., Абросимов С.М. Установка для автоматической сварки трехфазной дугой УДГТ-632У2 - Информ.листок / МЦНТИ (Куйбышев), 1984, № 173 - 84.

8. А.С. 792306 (СССР) Трансформатор для сварки /В.И. Столбов, Г.М.Короткова, В.А.Шаповалов - Оpubл. в Б.И., 1980, № 48.

Шаповалов

Определение фазных токов ($K_t = 1,73$ и $K_\Phi = 1,11$)

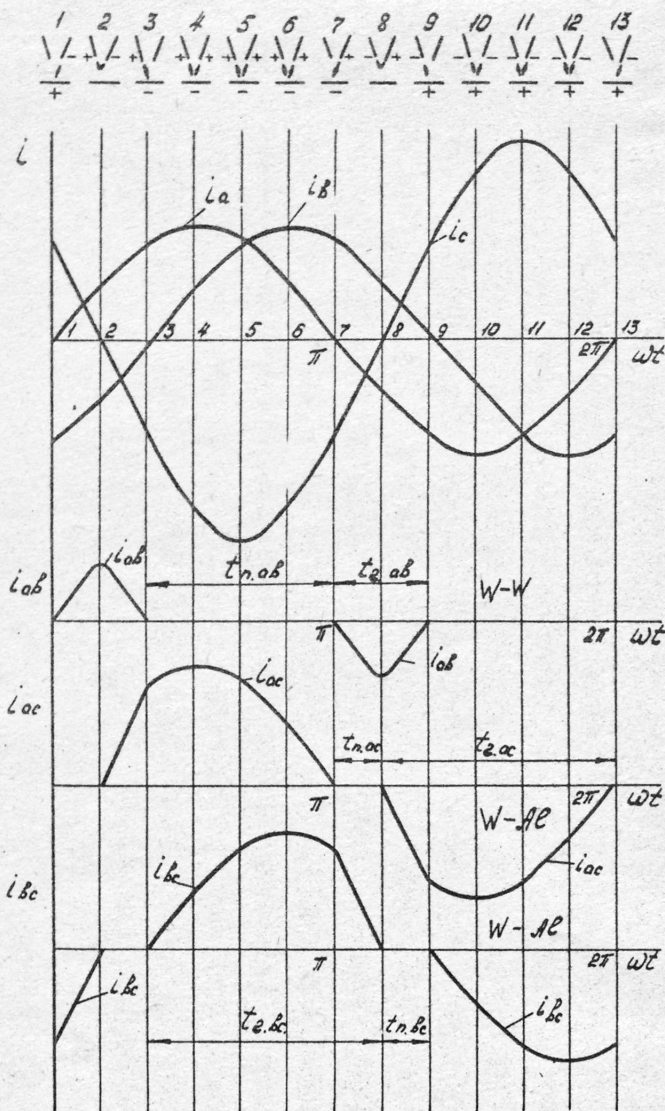


Рис. I.