

М 130417

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

МАТВЕЕВ В. И.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ
ПИТАНИЯ ДЛЯ ОДНОСТОРОННЕЙ ТОЧЕЧНОЙ КОН-
ТАКТНОЙ СВАРКИ РАСЩЕПЛЕННЫМ ЭЛЕКТРОДОМ
НА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЕ

• (05.167 — Машины и технология сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
им. Н. Э. Баумана.

Научные руководители:

д. т. н., проф. Браткова О. Н., к. т. н. Назаров Г. В.

Официальные оппоненты:

член-корр. АН УССР, д. т. н., проф. Лебедев В. К.,
к. т. н., доц. Нитусов Ю. Е.

Ведущее предприятие

Министерства Академического Совета.

Автореферат раз

Защита состоится «
на заседании специ-
налогия сварочного
(Москва, Б-5, 2-ая

С диссертацией

14130412

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое распространение при выполнении неразъемных электрических соединений нашел метод односторонней точечной контактной сварки расщепленным электродом. Этим методом осуществляется сварка навесных элементов с круглыми и плоскими выводами с пленочными и печатными контактными площадками микросхем.

Гарантировать высокое качество и надежность соединений, выполняемых на электросварочном оборудовании, можно только при обеспечении высокой стабильности процесса сварки. Одним из путей дальнейшего повышения стабильности течения процесса сварки является применение источников питания с автоматическим регулированием их электрических параметров при изменении физических свойств свариваемых материалов в процессе сварки. Настоящая работа посвящена разработке таких источников, исследованию их характеристик и технологических возможностей.

Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Разрабатываемые до настоящего времени установки для сварки расщепленным электродом обеспечивают высокую воспроизводимость качества соединений лишь ограниченного числа сочетаний свариваемых деталей.

Основным дестабилизирующим фактором процесса контактной точечной сварки является разброс величины сопротивления между электродами в процессе сварки. Такой разброс обусловлен как нестабильностью контактных сопротивлений (особенно в начальной стадии сварки), так и нестабильностью величины сопротивления участка деталей, заключенного между электродами. Последнее является следствием нестабильности геометрических размеров свариваемых деталей.

В настоящее время наметились три основных пути решения изложенной проблемы: поддержание заданной величины начального сопротивления между электродами, регулирование режима сварки в зависимости от этого сопротивления и программирование величины сварочного тока в процессе сварки по экспериментально найденному оптимальному закону. Кроме того известны попытки регулирования давления электродов в процессе контактной сварки деталей

НИИ ПИУ им. П. Ф. Раумана



1130417

Матвеев В. И. Разработка

малых толщин.

Регулированием усилия нажатия электродов на свариваемые детали по заданной начальной величине сопротивления между электродами достигается высокая стабильность качества соединений при сварке расщепленным электродом только круглых проводников диаметром до 0,12 мм с тонкими пленками. Применение такой схемы регулирования при сварке плоских проводников не приводит к существенному повышению стабильности качества сварных соединений.

Другой путь некоторого повышения стабильности величины сопротивления между электродами (в случае круглых проводников) - увеличение зазора между ними. Но увеличение зазора между электродами вступает в противоречие с идеей микроминиатюризации радиоэлектронных устройств и не может превысить 0,15-0,2 мм.

Попытки программирования величины сварочного тока промышленной частоты в процессе сварки деталей малых толщин также не привели к успеху из-за малой тепловой инерционности этих деталей.

Что касается подобного программирования в случае повышенных частот сварочного тока, то современный уровень развития преобразовательной техники позволяет более полно решать проблему повышения стабильности качества сварки деталей малых толщин, а именно - автоматически подстраивать режим при изменении величины сопротивления между электродами в процессе сварки. Кроме того, можно ожидать, что при повышении частоты сварочного тока уменьшатся пульсации температурной кривой нагрева зоны сварки, что несомненно благоприятно скажется на воспроизводимости качества сварных соединений.

Остается добавить, что повышенная частота сварочного тока перспективна не только с точки зрения благоприятных условий автоматического регулирования режима, но и как средство, дающее дополнительные технологические возможности при точечной контактной сварке деталей малых толщин.

Исходя из отмеченных особенностей технологии односторонней точечной контактной сварки расщепленным электродом и вытекающих из этих особенностей требований, предъявляемых к источникам сварочного тока, необходимо было: разработать генераторы импульсов сварочного тока повышенной частоты с широким диапазоном регулирования амплитуд и частот следования этих импульсов для целей

ИДАН

М В У
И. Н. 8
БИБЛИОТЕКА

автоподстройки режима; провести теоретический и экспериментальный анализ электромагнитных процессов в силовых контурах новых источников питания с использованием современных средств анализа на ЭВМ для получения расчетных зависимостей; исследовать влияние автоподстройки режима в процессе сварки на стабильность качества сварных соединений, получаемых методом расщепленного электрода.

Глава 2. РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКОВ СВАРОЧНОГО ТОКА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ С АВТОПОДСТРОЙКОЙ РЕЖИМА.

При формулировании принципов автоподстройки режима сварки расщепленным электродом мы исходили из следующих соображений.

Проблема стабилизации величины контактного сопротивления участка электрод-деталь, быстро уменьшающегося в начальной стадии сварки, рассматривалась многими исследователями и на сегодняшний день основные пути и их возможности более или менее определены.

С другой стороны, исследования, проводимые на кафедре "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им.Баумана, показали, что сопротивление привариваемого проводника, заключенного между электродами, в процессе нагрева сварочным током становится соизмеримым или превышает величину контактных сопротивлений электрод-деталь.

В свою очередь, величина сопротивления участка проводника, заключенного между электродами, имеет существенный разброс за счет нестабильности поперечного сечения проводника (особенно в случае плоских проводников с покрытиями). Этот разброс в значительной мере сказывается на воспроизводимости качества соединений, выполняемых методом расщепленного электрода.

Анализируя уравнение теплового баланса без учета теплоотвода, можно показать, что температура, до которой нагревается проводник длиной l (в случае сварки расщепленным электродом можно принять $l = const$) импульсом сварочного тока постоянной длительности, будет неизменна в случае, если величина падения напряжения на проводнике будет постоянной, т.е. величина сварочного тока будет изменяться в обратнопропорциональной зависимости от величины сопротивления проводника. Другими словами для рассматриваемого случая температура, до которой нагревается проводник, не зависит от его поперечного сечения. В связи с

этим можно предположить, что стабилизация напряжения между электродами в процессе односторонней точечной контактной сварки расщепленным электродом благоприятно скажется на воспроизводимости качества сварных соединений.

Кроме того, в случае постоянства величины напряжения между электродами при больших величинах контактных сопротивлений (обычно в начальной стадии сварки) вероятность выплесков значительно снизится за счет автоматического уменьшения мощности, вводимой в зону сварки.

В связи с изложенным, рассматриваемые источники сварочного тока повышенной частоты разрабатывались исходя из требования постоянства действующего значения напряжения между электродами в процессе сварки.

В результате анализа различных методов формирования импульсов сварочного тока повышенной частоты выбор был остановлен на статических преобразователях частоты, в частности на последовательных инверторах, работающих в режиме свободного выключения тиристоров. Силовой контур инверторов включает сварочный трансформатор.

Нами разработаны и предложены два новых способа регулирования действующего значения напряжения на нагрузке при изменении величины сопротивления последней.

Первый способ основан на подключении параллельно коммутирующему конденсатору разрядного сопротивления с помощью тиристора в паузе между импульсами тока нагрузки однополярного последовательного инвертора. Момент подключения разрядного сопротивления, определяющий амплитуду импульсов тока нагрузки, регулируется с помощью системы обратной связи по напряжению на электродах.

Второй способ основан на свойстве релаксационных одновибраторов изменять частоту следования генерируемых импульсов при изменении величины питающего их напряжения. Источник собран по схеме двуполярного (или однополярного) последовательного инвертора с самовозбуждением. Схема возбуждения силовых тиристоров инвертора представляет собой два релаксационных генератора на переключающих диодах (динисторах) и подключена к коммутирующему конденсатору инвертора.

При увеличении (уменьшении) величины сопротивления между электродами уменьшается (увеличивается) добротность силового

контура инвертора, уменьшается (увеличивается) амплитуда импульсов напряжения на коммутирующем конденсаторе и, как следствие, снижается (повышается) частота формируемых релаксационными генераторами импульсов, запускающих силовые тиристоры. Это приводит к самостабилизации действующего напряжения на нагрузке инвертора при изменении в некотором диапазоне величины ее сопротивления за счет автоматического изменения скважности импульсов тока нагрузки.

Глава 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В НОВЫХ ИСТОЧНИКАХ СВАРОЧНОГО ТОКА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ.

При теоретическом анализе электромагнитных процессов были сделаны следующие допущения: сопротивление тиристоров в проводящем состоянии неизменно; потери в стали и ток намагничивания сварочного трансформатора пренебрежимо малы; не учитывается явление поверхностного эффекта.

В силовых контурах рассматриваемых источников питания имеют место отсечки по току и, следовательно, разрывы непрерывностей функций и производных, описывающих электромагнитные процессы в них. В связи с этим анализ проводился методом сопряжения решений. Решения представлялись в виде совокупностей, полученных для отдельных подобластей изменения переменных.

Сделанные допущения позволили получить достаточно простые и наглядные аналитические зависимости для расчета параметров последовательностей импульсов тока нагрузки в переходных и установившихся режимах. Причем оказалось, что все эти параметры являются, в основном, функцией величины добротности силовых контуров рассматриваемых источников импульсов сварочного тока инверторного типа. Такие зависимости получены для однополярного и двухполярного последовательных инверторов без управления величиной тока их нагрузки.

При анализе электромагнитных процессов в инверторе с регулируемой амплитудой импульсов тока нагрузки оказалось возможным сделать некоторые допущения, позволяющие получить простые аналитические зависимости, пригодные для инженерных расчетов. Определены границы целесообразности принятых допущений и величины погрешностей расчета при их наличии.

Однако в целом ряде случаев и, в частности, в случае инвертора с самовозбуждением, необходимость решения нелинейных transcendентных уравнений не позволила получить пригодные для инже-

нерной практики аналитические зависимости. Теоретический анализ в этих случаях проводился с использованием ЭВМ непрерывного действия.

Необходимость подробного качественного и количественного анализов нелинейных многоконтурных систем с отсечками по току или напряжению выдвигает задачу постоянного усовершенствования методов составления алгоритмов решений и моделирования на ЭВМ. В результате исследований в этом направлении разработана новая методика моделирования электромагнитных процессов в многоконтурных схемах, содержащих управляемые вентили. Методика базируется на использовании разрывных функций, в сочетании с импульсной функцией Дирака. Эти функции позволяют устранять многочисленные и громоздкие ограничения, разделяющие подобласти изменения переменных, автоматически сопрягая решения. Наглядность алгоритмов решений, составленных с помощью принятых разрывных функций, и возможность проведения алгебраических операций над последними позволяют существенно упростить подготовку структурных схем.

В качестве примера приведем лишь систему дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитные процессы в схеме замещения однополярного последовательного инвертора с подключением разрядного сопротивления параллельно коммутирующему конденсатору в паузе между импульсами тока нагрузки:

$$i = \frac{1}{2} \left[1 + (-1)^{E_1\left(\frac{t}{\alpha}\right)} \frac{i_1}{i} \right] \frac{1}{R} \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + (-1)^{E_1\left(\frac{t}{\alpha}\right)} \right] U_{bx} - \right.$$

$$\left. - L \frac{di}{dt} - \frac{1}{C} \int_0^t (i - i_p) dt \right\};$$

$$i_p = \frac{1}{2} \left[1 + (-1)^{E_1\left(\frac{t-\alpha}{\alpha}\right)} \right] \frac{1}{r_p C} \int_0^t (i - i_p) dt,$$

где r, L, C - параметры схемы замещения силового контура инвертора,

r_p - разрядное сопротивление, подключаемое параллельно коммутирующему конденсатору инвертора в паузе между импульсами тока нагрузки,

i, i_p - ток силового контура инвертора и разрядный ток, протекающий через сопротивление r_p ,

u_c - напряжение на коммутирующем конденсаторе инвертора,

$I(u_c)$ - левосторонний прерыватель, равный

$$\frac{1}{2} \left[1 + \frac{|u_c|}{u_c} \right]$$

$\frac{1}{a}$ - частота включения силовых тиристор инвертора,

$\frac{t-d}{a}$ - частота подключения сопротивления r ,
 $E_r(t)$ - известная функция "антье".

Заметим, что схема замещения содержит три контура, тогда как разрывные функции позволили описать работу двух из них одним уравнением.

В главе III диссертации приведено подробное описание средств моделирования используемых разрывных функций.

Остается добавить, что сопоставления всех аналитических зависимостей и расчетных данных, полученных на АВМ МН-14 с экспериментальными дали вполне приемлемую сходимость (погрешности расчета не превышают 17%).

Глава IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ.

При технологических испытаниях новых источников питания прочность сварных соединений оценивалась по величине усилия, разрушающего эти соединения. Разрушающее усилие прикладывалось к проводникам под углом 90° к поверхностям контактных площадок.

Оценка стабильности прочности сварных соединений производилась по величине среднеквадратичного отклонения от средней прочности соединений в партии сваренных образцов..

С помощью балластного конденсатора, подключенного на входе источников, при сварке на пленочных контактных площадках форми-

ровались плавные передний и задний фронты огибающей амплитуд высокочастотных импульсов сварочного тока. В источнике с самовозбуждением в этом случае плавное увеличение (уменьшение) амплитуд импульсов сварочного тока переднего (заднего) фронта сопровождается постепенным ростом (уменьшением) частоты их следования.

При сварке круглых и плоских проводников с печатными контактными площадками предпочтительнее малые времена сварки с крутым задним фронтом во избежание отслоений фольги от оснований. В этих случаях по окончании времени сварки прекращается посылка управляющих импульсов на силовые тиристоры источников и сварочный ток прерывается.

Проведены экспериментальные измерения скоростей охлаждения зоны сварки и исследование зависимости стабильности прочности сварных соединений от частоты следования импульсов сварочного тока. Эти исследования показали, что частота следования импульсов сварочного тока длительностью 350-450 мксек должна быть не ниже 500 гц при сварке расщепленным электродом конструкций, применяемых в микроэлектронике.

В источнике с регулируемой амплитудой импульсов тока нагрузки в целях стабилизации действующего значения напряжения на электродах в процессе сварки, была выбрана частота следования импульсов сварочного тока, равная 800 гц.

Влияние автоподстройки режима на стабильность качества сварных соединений при разбросе геометрических размеров свариваемых деталей исследовалось следующим образом. Производилась сварка калиброванных круглых медных проводников диаметром 0,13 мм и 0,14 мм с золотой пленкой толщиной 0,5-0,7 мк с подслоем нихрома на ситалле с автоподстройкой режима и в ее отсутствие. При этом в обоих случаях режим выбирался по проводнику $\phi 0,13$ мм.

В случае отсутствия автоподстройки режима среднее квадратичное отклонение прочности соединений при переходе к сварке проводника $\phi 0,14$ мм увеличивается в 2,1 раза.

При наличии автоподстройки режима увеличение диаметра проводника от 0,13 мм до 0,14 мм приводит к автоматическому увеличению сварочного тока и среднее квадратичное отклонение прочности остается практически неизменным.

Введение автоподстройки режима в случае сварки медной ленты размером 0,02 мм х 0,5 мм (разброс поперечного сечения достигает 37%) с золотой пленкой на ситалле снижает величину среднее квадратичного

отклонения прочности почти в 1,5 раза.

При сварке плоских золоченых коваровых проводников размером сечения $0,08\text{мм} \times 0,275\text{мм} \pm 0,1\text{мм} \times 0,325\text{мм}$ (отклонение 48%) с медными печатными контактными площадками толщиной $0,05\text{мм}$ на стеклотекстолите, режим настраивался по проводнику с максимальным поперечным сечением. В случае отсутствия автоподстройки режима при уменьшении поперечного сечения проводника более, чем на 11%, 10% соединений некачественные, а при уменьшении размеров сечения свыше 35% - все соединения некачественные (выплеск и прожог). При введении автоподстройки режима все полученные соединения качественные (сваривались по 100 образцов). Следует отметить, что во всех описанных случаях при введении автоподстройки режима выплеск отсутствует.

Остается добавить, что при отсутствии разброса величины поперечного сечения проводников, привариваемых к пленкам методом расщепленного электрода, введение автоподстройки режима также приводит к существенному увеличению стабильности прочности соединений.

Были проведены исследования влияния автоподстройки режима на стабильность прочности сварных соединений при разбросе величины давления сварочных электродов.

Исследовано также влияние длительности времени сварки на качество сварных соединений, выполняемых на хрупких диэлектрических основаниях.

Технологические испытания источника с самовозбуждением, проведенные в несколько меньшем объеме, дали аналогичные результаты.

Источник питания с регулируемой амплитудой импульсов сварочного тока для целей автоподстройки режима в процессе сварки нашел промышленное применение в установке ИС-3Р2-2 для односторонней точечной контактной сварки расщепленным электродом на повышенной частоте.

Аналогичный генератор импульсов сварочного тока повышенной частоты с регулируемой амплитудой и принцип самовозбуждения использованы в источнике питания автомата АДСТ-I. Автомат предназначен для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом на повышенной частоте сварочного тока с автоматическим регулированием проплавляющей способности дуги при изменении ее длины.

Остается добавить, что в настоящее время нами проводятся работы по применению рассмотренных источников сварочного тока

при двусторонней точечной контактной сварке деталей малых толщин с автоподстройкой режимов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. В результате анализа особенностей процесса контактной точечной сварки деталей малых толщин установлено, что для улучшения воспроизводимости качества сварных соединений необходима автоматическая подстройка режима в процессе сварки.

При односторонней сварке расщепленным электродом на повышенной частоте такая подстройка осуществляется путем поддержания постоянства действующего значения напряжения между электродами в процессе сварки.

2. Установлена перспективность использования автономных последовательных инверторов на тиристорах в качестве генераторов импульсов сварочного тока повышенных частот.

Предложены новые способы регулирования амплитуды и скважности импульсов тока нагрузки таких инверторов в целях автоподстройки режимов в процессе контактной сварки, использованные в разработанных источниках сварочного тока повышенной частоты.

3. Произведен теоретический анализ электромагнитных процессов в новых источниках питания, позволивший получить аналитические зависимости для расчета параметров импульсов тока нагрузки в переходных и установившихся режимах.

4. Разработана новая методика составления алгоритмов решений при анализе на ЭВМ электромагнитных процессов в многоконтурных схемах, содержащих управляемые вентили. Методика базируется на использовании разрывных функций, упрощающих подготовку структурных схем за счет устранения многочисленных и громоздких ограничений, разделяющих подобласти изменения функций и производных.

5. Экспериментально установлено, что при использовании импульсов сварочного тока длительностью 300-400 мксек уменьшение частоты их следования меньше 500 гц ведет к ухудшению воспроизводимости качества сварных соединений, получаемых методом расщепленного электрода.

6. Показано, что при поддержании постоянства действующего значения напряжения между электродами в процессе сварки методом расщепленного электрода импульсами тока повышенной частоты, разделенных паузами:

а) значительно возрастает стабильность прочности сварных соединений деталей, имеющих разброс величины поперечного сечения, и уменьшается вероятность появления выплесков в процессе сварки;

б) увеличивается диапазон получения равнопрочных соединений при разбросе величины усилия нажатия сварочных электродов.

7. Экспериментально установлено, что при сварке круглых проводников с пленочными контактными площадками, нанесенными на хрупкие диэлектрические подложки (стекло, ситалл), длительность времени сварки необходимо увеличивать с увеличением диаметра привариваемого проводника во избежание разрушения подложек.

8. Настоящие исследования положены в основу разработки установки ИС-3Р2-2 для сварки расщепленным электродом на повышенной частоте с автоподстройкой режима.

Предложенные новые способы регулирования амплитуды и скважности импульсов тока нагрузки последовательных инверторов использованы в источнике питания автомата АДСТ-I для аргоно-дуговой сварки на повышенной частоте с автоматическим регулированием проплавляющей способности дуги при изменении ее длины.

Диссертация состоит из четырех глав, содержит 118 страниц текста, 47 рисунков, В списке использованной литературы приведено 80 наименований.

Основные положения диссертации доложены:

на совместном научном семинаре кафедр "Машины и автоматизация сварочных процессов" и "Электротехника, электрооборудование и промышленная электроника" МВТУ им. Баумана;

на совместном научном семинаре лабораторий "Микросварка", "Источники тока", "Сварка полупроводниковых приборов" ИЭС им. Патона, Киев, 1970г.

По материалам диссертации были сделаны доклады на:

XIII Московской научно-технической конференции по итогам научных и производственных работ за 1967 год в области сварочного оборудования;

семинаре "Сварка в приборостроении и радиоэлектронике", Ленинград, 1969 год;

семинаре "Прогрессивные методы сварки", Саратов, 1969 год;

семинаре "Новые работы в области сварки и пайки металлов малых толщин и сечений", Киев, 1969 год.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Браткова О.Н., Матвеев В.И., Круглов Г.Н., Назаров Г.В., Лысенко А.С., Источники питания для односторонней контактной микросварки на повышенной частоте с автоподстройкой режима в процессе сварки. Тезисы доклада на XII Московской НТК по итогам научных и производственных работ, 1968г.
2. Браткова О.Н., Шаблыгин С.В., Назаров Г.В., Лысенко А.С., Матвеев В.И., Круглов Г.Н., Устройство для контактной сварки с автоподстройкой режима, авторское свидетельство №238036 с приоритетом от 14.12.1967, опубликовано 20.2.1969, бюллетень №9.
3. Матвеев В.И., Круглов Г.Н., Браткова О.Н., Устройство для контактной сварки на повышенной частоте, авторское свидетельство №238701 с приоритетом от 15.1.1968, опубликовано 10.3.1969, бюллетень №10.
4. Браткова О.Н., Назаров Г.В., Шаблыгин С.В., Владимиров Е.А., Матвеев В.И., Источники питания повышенной частоты на тиристорах для односторонней контактной микросварки, "Сварочное производство", №7, 1968г.
5. Браткова О.Н., Матвеев В.И., Круглов Г.Н., Соколинский Б.Ф. Човое в оборудовании для контактной сварки, Тезисы доклада на семинаре "Прогрессивные методы сварки", Саратов, 1969г.
6. Браткова О.Н., Назаров Г.В., Лысенко А.С., Матвеев В.И., Нотокрещенов В.Г. Источник питания для односторонней контактной микросварки с автоматической подстройкой режима, Автоматическая сварка, №9, 1970г.
7. Иванов Л.Л., Матвеев В.И., Круглов Г.Н. К расчету преобразователей на тиристорах с применением разрывных функций, труды МВТУ им.Баумана, выпуск 136, 1970г.
8. Браткова О.Н., Матвеев В.И., Круглов Г.Н. Источник питания для контактной сварки на повышенной частоте, труды МВТУ им.Баумана, выпуск 136, 1970г.