

М 194657
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

КРУГЛОВ Герман Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА
ОБОРУДОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКИ
НА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЕ СВАРОЧНОГО ТОКА**

(05.04.05—Технология и машины сварочного производства)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Научный руководитель —
доктор технических наук, профессор О. Н. Браткова.

Научный консультант —
кандидат технических наук В. И. Матвеев.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Б. Д. Орлов;
кандидат технических наук, доцент Н. Л. Каганов.

Ведущее предприятие — КРЛЗ — Калужский радиолам-
повый завод, г. Калуга.

Автореферат разослан « » 1973 г.

Защита диссертации состоится « » 1973 г.
на заседании Совета
Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного
Знамени высшего технического училища имени Н. Э. Баума-
на по адресу: Калужская ул., дом 5.

Секретариату, просьба вы-
слать в библиотеку учи-

М194657



1194657

Круглов Г. Н. Исследование

Точечная

ВВЕДЕНИЕ

и контактная сварка деталей малых толщин и сечений, образующая отдельную область сварочного производства - контактную микросварку, широко применяется в приборостроительной, радиотехнической и электровакуумной промышленности.

Основное отличие процесса сварки деталей малых толщин, сечений и габаритов от сварки деталей крупных размеров заключается в малой тепловой инерционности свариваемых деталей, интенсивном теплоотводе и существенной роли контактных сопротивлений.

Исследованию особенностей процесса контактной микросварки посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов, однако до настоящего времени вопрос создания сварочного оборудования, которое отвечало бы требованиям обеспечения стабильности качества микросварных соединений, их надежности и долговечности, является достаточно актуальным. Одним из путей решения этой проблемы может явиться создание источников сварочного тока повышенной частоты, применение которых открывает широкие возможности формирования сварочного импульса в соответствии с изменениями физических свойств свариваемых материалов в процессе сварки.

Исследованию процесса контактной микросварки на повышенной частоте сварочного тока и разработке таких источников посвящена эта работа.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В производстве электровакуумных приборов контактная сварка занимает важное место, отнимая в общем потоке массового производства до 50% трудовых затрат.

Точечная контактная сварка, применяемая в электронной промышленности, выполняется в основном на контактных машинах однофазного переменного тока промышленной частоты. Применяются также точечные конденсаторные машины малой мощности, однако, их значительно меньше.

Вместе с развитием электронной промышленности происходило совершенствование сварочного оборудования как в электрической части, так и в части механизма давления. Все проводимые работы по усовершенствованию сварочного оборудования ставят своей целью решить задачу оснащения промышленности сварочными установками, способными обеспечить высокое качество соединений, получаемых методами контактной сварки. Однако, до настоящего времени про-

И. Н. В. Брунак
БИБЛИОТЕКА

цент брака по сварке малогабаритных деталей еще высок, достигая, например, по выплескам на некоторых изделиях 80% при сварке от группового генератора. В то же время уже сейчас на повестку дня встает вопрос не только исключения брака при сварке, но и обеспечения высокой стабильности прочностных показателей сварных соединений.

Наметившиеся пути решения этой проблемы можно разделить на два основных направления: программирование и управление, каждое из которых имеет свои различные формы. Под программированием следует понимать задание определенных (оптимальных для каждого конкретного типа соединения) условий и параметров режима с последующей повторяемостью их от сварки к сварке. Управление же есть автоматическое изменение режима как в процессе сварки, так и от сварки к сварке, в зависимости от параметра, принятого за критериальный, по определенному (оптимальному) закону.

Методы повышения качественных показателей сварных соединений, относящиеся к программированию, направлены на определение и обеспечение оптимальных параметров режима при сварке сочетания, являющегося как бы среднестатистическим по своим характеристикам, обобщающего свойства большой партии соединяемых деталей. Успешное применение устройств, программирующих величину и форму сварочного тока, возможно лишь в случае повторяемости всех условий сварки однотипных соединений, т.е. при стабилизации начальных условий.

Но условия сварки не остаются неизменными. Возможен разброс геометрических размеров деталей, их взаимного расположения и т.п. При невозможности же получения полной идентичности условий сварки стабильность качественных показателей не может быть получена строгим дозированием энергии, вводимой в зону сварки и сохранением формы тока.

В этом случае необходим контроль состояния свариваемых деталей в самом процессе сварки. Режим должен изменяться с изменением условий сварки таким образом, чтобы в максимальной степени компенсировать возможные возмущения, обеспечивая тем самым повторяемость конечных результатов сварки.

Решение этой задачи становится возможным при реализации метода автоматического управления процессом по одному или нескольким параметрам, прямо или косвенно отражающим состояние сварива-

емых металлов в процессе сварки.

Однако было бы неправильно полностью отказаться от идеи программирования. На начальной стадии сварки, т.е. на стадии формирования физического контакта между свариваемыми деталями, программирование может дать положительный эффект, особенно при использовании повышенных частот сварочного тока. Целесообразность программирования переднего фронта нарастания амплитуды импульсов сварочного тока с целью исключения начальных выплесков показана в результате технологических исследований при сварке деталей электровакуумных приборов на малых давлениях (глава 3).

Известно, что качество сварных соединений определяется совокупностью параметров режима - величиной давления электродов, величиной и формой сварочного тока, длительностью времени его протекания. Управление именно этими, определяющими процесс параметрами, может помочь достижению желаемых результатов по повышению стабильности качества получаемых соединений.

Поиски методов автоматического управления процессом сварки диктуются необходимостью приведения в соответствие механических и электрических параметров процесса на основе изучения характера их взаимодействия с целью обеспечения оптимальных для каждого конкретного случая условий формирования сварного соединения, обладающего необходимыми физическими свойствами. При неуправляемом импульсе сварочного тока исследователи ищут возможности влиять на ход процесса путем управления механизмом давления, ставя его поведение в зависимость от изменения электрических параметров процесса. Возможен и другой путь решения той же проблемы. Задачу автоматического управления процессом можно возложить на источник сварочного тока. В этом случае импульс тока должен быть управляемым, и его параметры (величина, форма, длительность) должны изменяться в процессе сварки в зависимости от физических процессов, протекающих в зоне сварки и в соответствии со свойствами механизма давления.

Работы, проводимые в этом направлении у нас в стране и за рубежом, показывают перспективность такого метода повышения стабильности качества сварных соединений. Причем, наилучшие результаты при воздействии на процесс различных воз-

мушающих факторов получаются в случае стабилизации величины действующего значения напряжения между электродами в процессе сварки.

В условиях микросварки при использовании тока промышленной частоты стабилизация действующего значения напряжения между электродами оказывается неэффективной из-за малой тепловой инерционности свариваемых деталей, на что указывает в своих работах Н.М.Соколов.

Преход на повышенные частоты позволил снять ограничения, связанные с применением источников сварочного тока промышленной частоты для целей микросварки и показать эффективность ведения процесса со стабилизацией действующего значения напряжения между электродами. Повышение частоты уменьшает пульсации температурной кривой нагрева зоны сварки и создает широкие возможности для автоматического управления электрическими параметрами процесса за счет амплитудной и частотной модуляции.

На основе проведенного анализа технологии и оборудования для контактной микросварки и существующих методов повышения качественных показателей сварных соединений необходимо было:

1. Выбрать форму сварочного тока, приемлемую в условиях микросварки с точки зрения тепловой инерционности свариваемых деталей, и необходимый закон управления, обеспечивающий повышение стабильности прочности сварных соединений в условиях воздействия на процесс различных возмущающих факторов.

2. Исходя из выбранной формы тока, определить принцип построения генератора сварочных импульсов и разработать источник сварочного тока повышенной частоты с необходимым диапазоном регулирования его параметров.

3. Исследовать особенности процесса контактной микросварки на повышенных частотах с целью выбора метода автоматического управления.

4. Выявить технологические возможности нового источника импульсов сварочного тока путем экспериментального исследования влияния автоматической подстройки режима в процессе сварки деталей электронной техники на стабильность прочности сварных соединений.

5. Разработать методику расчета основных элементов силового контура источника импульсов сварочного тока повышенной частоты с учетом выбранного метода управления.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

При проведении исследований по сварке деталей электровакуумных приборов была выбрана форма кривой тока, представляющая собой последовательность коротких синусоидальных импульсов, разделенных паузами. В основу источника импульсов сварочного тока положен симметричный дупольный последовательный инвертор на тиристорах, наиболее полно решающий задачу получения импульсов тока требуемой формы.

На основании анализа существующих направлений повышения качественных показателей сварных соединений при проведении исследований по сварке деталей электровакуумных приборов током повышенной частоты за основу был взят закон управления параметрами сварочного тока, при котором действующее значение напряжения между электродами сохраняется неизменным как в процессе сварки, так и от сварки к сварке однотипных изделий.

При выбранной форме тока постоянство величины действующего значения напряжения может быть обеспечено путем регулирования амплитуды импульсов тока при неизменной частоте их следования, а так же с помощью регулирования величины паузы между импульсами, т.е. частоты их следования. Частотный метод свободен от многих недостатков, присущих амплитудному методу, в смысле его реализации, в связи с чем были проведены исследования, направленные на выявление возможности применения для целей автоматического управления величиной сварочного тока частотного метода.

При проведении исследований осуществлялось осциллографирование электрических параметров процесса и проводились механические испытания сварных соединений.

Определяющим фактором в формировании сварного соединения, получаемого методом контактной электросварки, является температура в контакте свариваемых материалов. При этом на качество получаемых соединений оказывает влияние не только абсо-

лютное значение температуры, но и закон изменения ее во времени. В связи с этим был рассмотрен вопрос возможности наблюдения и регистрации температурных кривых нагрева свариваемых деталей в процессе сварки.

С этой целью была разработана методика экспериментального исследования термического цикла при сварке деталей малых толщин и сечений током повышенной частоты, позволяющая провести сравнительную оценку характера кривых температурного нагрева свариваемых деталей во всем цикле сварки. Сущность метода заключается в том, что, используя прерывистую форму тока, фиксируется величина термо-э.д.с., возникающая в контакте свариваемых разнородных металлов (например, медь - никель), в паузах между импульсами тока.

При непрерывной кривой сварочного тока падение напряжения на сопротивлении контакта превышает величину возникающей термо-э.д.с. на два-три порядка, что делает невозможной регистрацию последней при сварке полупериодом тока промышленной частоты или разрядом конденсатора. Наличие же паузы между высокочастотными импульсами позволяет регистрировать практически неискаженную по форме и величине термо-э.д.с. контакта свариваемых деталей. Сравнение кривых изменения величины термо-э.д.с., полученных при сварке изделий из одной и той же пары металлов, позволяет судить и об изменении характера температурного нагрева свариваемых деталей.

Результаты измерения величины термо-э.д.с. в процессе сварки разнородных металлов были использованы при исследовании процесса сварки деталей электровакуумных приборов импульсами сварочного тока повышенной частоты при выборе диапазона частот следования импульсов, а также при выявлении влияния автоматической подстройки режима на стабильность прочности сварных соединений. Одновременно проводился контроль внешнего вида соединений и механические испытания на прочность. Стабильность прочности соединений оценивалась по величине коэффициента вариации V . Выражая среднее квадратическое отклонение в процентах от среднего арифметического ряда измерений, величина коэффициента вариации позволяет проводить сравнение распределений с точки зрения их рассеивания относительно среднего арифметического.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСТОЧНИКОВ СВАРОЧНОГО ТОКА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ.

Для определения допустимого диапазона частот применительно к производству электровакуумных приборов были проведены эксперименты по сварке перекрещивающихся круглых медных и никелевых проводников. При этом решалась конкретная задача определения максимально допустимой паузы между импульсами сварочного тока длительностью порядка $300 + 400$ мкс. При проведении экспериментов по сварке на различных частотах осуществлялась сравнительная оценка характера температурных кривых нагрева свариваемых деталей в соответствии с разработанной методикой, а также осуществлялся контроль внешнего вида получаемых соединений. Кроме того, была проведена сварка серий образцов для выявления влияния частоты следования импульсов сварочного тока на стабильность прочности сварных соединений.

Анализ полученных осциллограмм величины термо-э.д.с. при сварке медных проводников $\varnothing 0,5$ мм. с никелевыми $\varnothing 0,9$ мм показал, что кривые температурного нагрева при сварке на повышенных частотах сварочного тока имеют явно выраженный пульсирующий характер. Величина термо-э.д.с. за время паузы заметно уменьшается на низких частотах, что свидетельствует о значительной скорости остывания деталей в период отсутствия сварочного тока.

На основании анализа полученных кривых изменения термо-э.д.с. было сделано предположение, что с повышением частоты условия формирования сварного соединения должны улучшиться. Более плавное нарастание температуры в контакте свариваемых деталей и уменьшение величины ее пульсаций позволит создать благоприятные условия для избежания начального выплеска и обеспечения равномерного плавления по всей поверхности контактирования свариваемых изделий.

Правильность такого предположения подтвердилась при анализе внешнего вида соединений, получаемых при сварке указанных выше деталей на различных частотах следования импульсов сварочного тока. Если литая галтель сваренных вкрест круглых проводников на частоте 200 Гц имеет вид совокупности отдельных выдавленных из контакта и застывших шариков, то уже на частоте

600 Гц, благодаря незначительному остыванию деталей за время паузы и более плавному увеличению температуры в зоне сварки, сварное соединение имеет гладкую, правильной формы литую галтель, что свидетельствует о приемлемости в этом случае условий формирования расплавленной зоны.

Кроме того, эксперименты по сварке серий образцов на различных частотах показали заметное улучшение стабильности прочностных свойств рассматриваемых соединений с повышением частоты до $500 + 600$ Гц, что, видимо, также является следствием уменьшения пульсаций температурной кривой нагрева свариваемых деталей.

Результаты проведенных исследований позволили сделать вывод о возможности использования для сварки довольно широкого диапазона частот, нижняя граница которого определяется тепловой инерционностью изделий, а верхняя обусловлена частотными свойствами применяемых тиристоров и длительностью импульса сварочного тока. В рассматриваемом случае был выбран диапазон частот в пределах $600 + 1200$ Гц.

Возможность вариации значения частоты в установленном диапазоне без ущерба качественным показателям процесса сварки позволяет для целей автоподстройки режима использовать систему с частотным регулированием величины сварочного тока. Для изучения влияния автоподстройки режима на стабильность прочности сварных соединений был изготовлен источник с регулированием величины сварочного тока методом частотной модуляции. Источник выполнен на базе двухтактного симметричного последовательного инвертора и дополнен узлом обратной связи.

Оценка влияния автоподстройки режима, т.е. поддержание постоянства величины действующего значения напряжения между электродами, проводилась по результатам механических испытаний соединений, сваренных при воздействии различных возмущений. Диапазон изменения возмущающих факторов выбирался заведомо большим возможного в реальных условиях.

Эффективность введения автоподстройки режима при разбросе геометрических размеров свариваемых деталей проверялась путем сварки на одном и том же режиме калиброванных круглых никелевых проводников трех различных диаметров с плюшкой из стали Н42 с автоподстройкой и без автоподстройки режима. Режим настраивался при сварке плюшки с проволокой диаметром 0,7 мм. Затем,

не меняя режима, осуществлялась сварка плющенки с проволоками диаметром 0,5 мм и 0,9 мм, что соответствует изменению площади поперечного сечения проводника на + 65%, - 49%.

В случае сварки без автоподстройки режима коэффициент вариации прочности, равный $\pm 5,85\%$ для диаметра 0, мм, увеличивается до $\pm 9,6\%$ при сварке плюшки с проводником $\phi 0,5$ мм, т.е. на $\pm 3,75\%$ и до $\pm 11,62\%$, т.е. на $\pm 5,77\%$ при сварке с проводником $\phi 0,9$ мм.

При наличии автоподстройки режима соответствующие изменения коэффициента вариации прочности соединений имеют следующие значения: при переходе с диаметра 0,7 мм на диаметр 0,5 мм коэффициент вариации увеличивается с $\pm 4,32\%$ до $\pm 5,31\%$, т.е. всего на $\pm 1\%$ и до $\pm 5,5\%$ для диаметра 0,9 мм, т.е. на $\pm 1,18\%$. Приведенные данные показывают значительное повышение стабильности прочностных показателей соединений при введении частотной автоподстройки режима в случае разброса геометрических размеров свариваемых деталей.

Исследования влияния автоподстройки режима на стабильность прочности сварных соединений при разбросе величины питающего напряжения проводились при сварке перекрещивающихся круглых никелевых проводников диаметром 0,9 мм с круглыми медными проводниками диаметром 0,5 мм. Питающее напряжение изменялось от 100 В до 145 В при неизменных остальных параметрах режима.

При отсутствии автоподстройки режима процесс сварки оказался очень критичным к изменению величины питающего напряжения, в связи с чем не удалось обнаружить заметного диапазона входных напряжений, в котором были бы получены равнопрочные качественные соединения. В диапазоне 120 + 130 В было зафиксировано 60% выплесков, а при напряжениях выше 130 В все 100% соединений сопровождалось выплесками жидкого металла.

При введении автоподстройки в диапазоне от 115 до 145 В были получены практически равнопрочные сварные соединения при полном отсутствии выплесков. Стабилизация энергетического режима при наличии автоподстройки приводит также к тому, что в отличие от сварки без автоподстройки, величина деформации свариваемых деталей при колебаниях питающего напряжения меняется незначительно.

Исследования влияния автоподстройки режима на стабиль-

ность прочности сварных соединений при разбросе величины начального давления электродов так же показали, что с введением автоподстройки по частоте стабильность прочности выше, чем при сварке без автоподстройки режима. В то же время, в области малых давлений были зафиксированы выплески, причем количество выплесков практически одинаково как в случае отсутствия автоподстройки, так и при введении автоподстройки режима.

Исследования причин образования выплеска при сварке на малых давлениях показали, что выплеск происходит в начальной стадии сварки, т.е. до выхода системы на режим управления. Введение программирования переднего фронта нарастания амплитуды импульсов сварочного тока с помощью специального формирующего устройства позволило привести в соответствие скорость развития физического контакта между свариваемыми деталями со скоростью введения в зону сварки электрической энергии.

Исключение начального выплеска с помощью программирования переднего фронта позволило снизить общее количество выплесков при сварке катодов миниатюрных радиоламп с $40 \pm 60\%$ до $6 \pm 8\%$ по сравнению с серийным оборудованием. Введение временной селекции с целью стабилизации длительности времени работы источника в режиме управления при изменении длительности переднего фронта уменьшает количество выплесков при сварке катодов до $4 \pm 5\%$. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности ведения процесса сварки на малых давлениях с применением и программирования и управления.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИСТОЧНИКА ИМПУЛЬСОВ СВАРОЧНОГО ТОКА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ.

Проведенные исследования по сварке на повышенной частоте выявили технологические требования к параметрам импульсов сварочного тока. Учет взаимодействия технологических и электрических факторов, характеризующих сварочный процесс, дает возможность создать генератор импульсов сварочного тока, отвечающий задачам и специфике точечной контактной микросварки.

В результате проведенных технологических исследований была показана приемлемость частотного метода регулирования ве-

личины сварочного тока в условиях микросварки с целью повышения стабильности прочностных характеристик сварных соединений. В связи с этим разработка методики расчета проводилась применительно к источнику сварочного тока повышенной частоты с частотным регулированием для целей автоподстройки режим в процессе сварки.

Был проведен анализ основных зависимостей, характеризующих электромагнитные процессы в тиристорном преобразователе, который показал, что процессы в схеме могут быть с достаточной степенью точности описаны уравнениями второго порядка. Переход к уравнениям второго порядка позволил при анализе и расчете параметров основных элементов источника сварочного тока повышенной частоты вести рассмотрение одноконтурной схемы замещения силового контура инвертора с некоторыми эквивалентными параметрами $-R_s, L_s, C_s$. Результаты сравнения расчета параметров импульса тока приближенным методом с точным решением на АВМ - МИИ4 дали расхождение в вычислении амплитуды на 3,6% и длительности импульса на 6%, т.е. точность приближенного метода вполне достаточна для инженерной практики.

Основными элементами силового контура инвертора являются рабочая емкость C и сварочный трансформатор, входящий в одноконтурную схему замещения в качестве эквивалентной индуктивности L_s и эквивалентного активного сопротивления R_s . Искомыми величинами при расчете генератора импульсов сварочного тока повышенной частоты, являются также величины питающего напряжения U_0 и балластной емкости C_0 .

Кроме индуктивности L_s определяющим параметром сварочного трансформатора является коэффициент трансформации K_T , выражение для которого было получено в виде:

$$K_T = 0,905 \frac{U_{0\max}}{U_n} \cdot \frac{R_{n\max} \sqrt{q_{\min}}}{R_{n\max} + R_{2\pi}}$$

где $U_{0\max}$ - максимальное входное напряжение, определяемое допустимыми перенапряжениями на элементах схемы, U_n - стабилизируемое действующее значение напряжения между электродами, $R_{n\max}$ - максимальное сопротивление зоны сварки, $R_{2\pi}$ - сопротивление вторичной обмотки трансформатора, $q_{\min}$ - минимальная скважность импульсов тока, вычисляемая по заданной длительности

импульсов t_m и максимально допустимой величине паузы $t_{пmax}$.

Получены аналитические выражения и для остальных параметров элементов силового контура. По этим выражениям были построены зависимости, позволяющие провести расчет силовой части источника сварочного тока повышенной частоты с частотным управлением исходя из необходимой длительности одиночного импульса и допустимых перенапряжений на элементах схемы.

На основании разработанной методики проведен расчет силового контура инвертора и изготовлен источник импульсов сварочного тока. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало сходимость результатов с ошибкой, не превышающей 20%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТЬ.

Производственные испытания источников сварочного тока на повышенной частоте с автоматическим управлением режима проводились на предприятиях электровакуумной и приборостроительной промышленности как в лабораториях, так и в условиях цехового производства.

Результаты испытаний показали значительное улучшение результатов сварки при использовании новых источников по сравнению с серийным оборудованием. Так, при сварке катодов количество выплесков было снижено с 60 - 70 % до 0,3 % при испытаниях в цеховых условиях. Испытания на участке производства сеток показали полное отсутствие непровара витков сеток при однократном прокатывании ролика.

Применение нового источника при изготовлении модулей электронной аппаратуры позволило заменить процесс пайки сваркой, что значительно уменьшает объем и общий вес аппаратуры.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ.

1. Проведенные исследования процесса сварки деталей электровакуумных приборов показали эффективность использования источников импульсов сварочного тока повышенной частоты с автоматическим регулированием величины скважности целью повышения стабильности прочности сварных соединений.

2. Исследования процесса микросварки на повышенных частотах сварочного тока позволили установить допустимый диапазон частот следования импульсов тока для целей регулирования. При длительности одиночного импульса порядка $300 + 400$ мкс этот диапазон лежит в пределах $600 + 1200$ Гц.

3. Предложена методика экспериментального исследования температурных кривых нагрева зоны сварки путем регистрации в паузах между импульсами сварочного тока величины термо-э.д.с., возникающей в контакте свариваемых деталей из разнородных металлов.

4. Установлено, что при сварке на малых давлениях целесообразно применение программирования переднего фронта нарастания амплитуды импульсов сварочного тока с целью исключения вероятности появления начальных выплесков.

5. По результатам проведенных технологических исследований и анализа электромагнитных процессов в силовом контуре инвертора разработана методика расчета основных элементов силовой части источника сварочного тока с частотным управлением.

6. Производственные испытания показали, что разработанный источник позволяет значительно повысить качественные показатели сварных соединений при монтаже деталей электровакуумных приборов в заготовительном, сеточном и сборочном производствах.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Браткова О.Н., Шабыгин С.В., Назаров Г.В., Лисенко А.С., Матвеев В.И., Круглов Г.Н., Устройство для контактной сварки на повышенной частоте, авторское свидетельство № 238036. 1968г.

2. Матвеев В.И., Круглов Г.Н., Браткова О.Н., Устройство для контактной сварки на повышенной частоте, авторское свидетельство № 238701. 1968г.

3. Бреткова О.Н., Матвеев В.И., Круглов Г.Н., Источники питания для контактной сварки на повышенной частоте, труды МВТУ им. Н.Э.Баумана, вып. 136, "Источники питания и автоматизация процесса сварки", 1970г.

4. Матвеев В.И., Круглов Г.Н., Способ автоматического управления термическим циклом, авторское свидетельство №336120, 1972г.

5. Круглов Г.Н., Ломов И.А., Матвеев В.И., К расчету тиристорного преобразователя для контактной микросварки, "Автоматическая сварка", № 4, 1972г.

6. Круглов Г.Н., Матвеев В.И., Черныи В.П., К расчету источника для микросварки с частотным управлением, труды МВТУ им. Н.Э.Баумана, вып. 157, "Вопросы управления процессами", ч. II, 1972г.