П 4146 48

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

На правах рукописи

СВЕТЛОВ Анатолий Тимофеевич

УДК 621.791.754.037

РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДУГИ ПРИ СВАРКЕ И РЕЗКЕ ОТ СЕРИЙНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

(Специальность 05.04.05 – Технология и машины сварочного производства)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 1983

Работа выполнена в Брянском ордена "Знак Почета" институте транспортного машиностроения

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент В.П.Лугин

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор В.М.Ямпольский

кандидат технических наук Н.А.Юхин

Ведущее предприятие – указано в решении специализированного совета

Защита состоится "_____" _____ 1984 г.
на заседании специализированного Совета Д053.I5.07
при Московском высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана
по адресу: г.Москва, I07005, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв в одном экземп
высылать по указанному адре

С диссертацией можно озн
им.Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан "_

Учёный секретарь
специализированного Совета,
доктор технических наук,
профессор

Подп.к печ. 6.12.83г.
Зак. № 1442 Типограф

П 414698

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В программе совершенствования и развития сварочного производства на 1981-1985г., определённой директивами XXVI съезда КПСС, предусматривается дальнейшее расширение выпуска конструкций из высокопрочных сталей, алюминия и его сплавов. Ускоренное их внедрение продолжает тормозиться дефицитностью соответствующей сварочной техники, трудностью использования серийного высокопроизводительного оборудования при монтажных работах.

Составной частью оборудования для сварки этих материалов, а также для плазменных методов обработки являются возбудители дуги. Их применение устраняет дефекты в начале шва, повышает производительность труда за счёт сокращения подготовительных операций, позволяет легко автоматизировать процесс зажигания дуги и осуществить комплексную автоматизацию всего сварочного цикла.

Дефицитность оборудования для сварки алюминия и его сплавов и низколегированных сталей может быть значительно сокращена за счёт использования сварочных трансформаторов. Для этого требуются высокоэффективные и надёжные в работе устройства для первоначального возбуждения дуги и стабилизации её горения с пониженным уровнем радиопомех.

Серийно выпускаемые маломощные возбудители дуги не в полной мере удовлетворяют указанным требованиям. Для повышения эффективности действия, как правило, повышают их мощность. При этом масса возбудителей заметно увеличивается, возрастает опасность выхода из строя сварочного оборудования, радиопомехи, наблюдаются сбои в работе оборудования, снижается электробезопасность. При разработке нового сварочного оборудования также возникают сложности с проектированием устройств для возбуждения дуги с необходимыми характеристиками.

Целью работы является разработка маломощных возбудителей дуги с пониженным уровнем радиопомех, обеспечивающих высокую эффективность и стабильность осуществления технологических процессов сварки и резки стали, алюминия и его сплавов.

Методы исследования включали аналитические и экспериментальные исследования электрофизических явлений в межэлектродном промежутке, переходных процессов в сварочном контуре и в возбудителях дуги, анализ схем их замещения с применением аналоговых вычислительных машин, новых методик, электронных и шлейфных осциллографов, специальных измерительных устройств и другой техники эксперимента, а

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1414698

МВТУ им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

также методик и аппаратуры для измерения радиопомех.

Научная новизна работы состоит:

- в разработке обобщенного критерия стабильности возбуждения дуги искровым пробоем, учитывающего особенности электрофизических процессов в сварочном контуре;
- в разработке методики оценки устойчивости горения дуги по состоянию дугового промежутка в течение всего процесса сварки;
- в определении взаимосвязи уровня поля радиопомех, создаваемых сварочным постом, с длительностью, амплитудой и количеством возбуждающих и стабилизирующих дугу импульсов.

Практическая ценность и реализация работы. Обобщенный критерий стабильности возбуждения дуги совместно с требованиями сварки по длине пробиваемого промежутка и фазе подачи импульсов позволяет рассчитать параметры новых и оценить эффективность действия создаваемых и существующих возбудителей дуги применительно к конкретным способам сварки. Оценка состояния дугового промежутка по предложенной методике позволила выработать конкретные рекомендации к проектированию возбудителей дуги. Разработаны и реализованы на практике новые способы и устройства для первоначального и повторного возбуждения сварочной дуги, обеспечивающие высокую эффективность действия и пониженный уровень радиопомех при небольших габаритах и массе устройств. Разработанные возбудители встроены в универсальные установки для аргонодуговой сварки, предназначенные для работы в монтажных условиях, а также в машины для плазменной резки типа "Кристалл".

Апробация работы. Основное содержание работы доложено на IУ Всесоюзной межвузовской конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении" (Москва, 1975), П и Ш Белорусских республиканских научно-технических конференциях "Механизация и автоматизация сварочного производства" (Могилёв, 1975, 1978), Литовской республиканской конференции "Пути повышения технического прогресса и повышение эффективности сварочного производства в республике" (Вильнюс, 1977), IУ конференции молодых исследователей ИЭС им. Е.О. Патона (Киев, 1977), на Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка, исследование и внедрение новых источников питания сварочной дуги" (Вильнюс, 1981).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 30 печатных работ, в том числе 12 авторских свидетельств на изобретения.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, изложенных на 226 страницах машинописного текста, включая 102 рисунка и 13 таблиц, списка используемой литературы из 127 наименований и приложения, в котором приведены акты промышленного внедрения результатов выполненных разработок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан анализ способов возбуждения дуги, физических особенностей развития дугового разряда при возбуждении искровым пробоем, применяемой аппаратуры и теории её расчёта.

Вопросы зажигания и устойчивого горения дуги рассмотрены в работах Б.Е.Патона, В.К.Лебедева, А.М.Залесского, И.Я.Рабиновича, Г.И.Лескова, А.И.Лаужадиса, Р.М.Гуфана, Б.Я.Темкина и др., а также в работах зарубежных авторов Д.Н.Сомервила, О.Майра, Хильдебрандта, Укита Исами и др. В их работах показано, что возбуждение дуги высоковольтными импульсами является наиболее простым и универсальным средством автоматизации процесса возбуждения дуги, устраняет стартовые дефекты, повышает производительность труда сварщиков за счёт сокращения подготовительных операций, позволяет снизить напряжение холостого хода источников питания.

Анализ опыта промышленного применения возбудителей показывает, что в целом ряде процессов они не в полной мере удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям сварочного производства по эффективности действия, по габаритам и массе, по радиопомехам.

Этим объясняется большое внимание исследователей к выработке условий надёжного возбуждения дуги, борьбе с радиопомехами. Наиболее полно условия надёжного возбуждения дуги сформулированы в работах Г.И.Лескова: по напряжению пробоя, по мощности и длительности импульсов. Они выведены с учётом особенностей протекания переходных процессов в сварочной цепи, но не учитывают некоторых физических особенностей процессов в дуговом промежутке при конкретных способах сварки.

По мнению Б.Я.Тёмкина, развитие сварочной дуги начинается после окончания действия возбуждающего импульса. Стабильность возбуждения дуги определяется величиной и проводимостью токопроводящего канала, образовавшегося в результате работы возбудителя.

Такой подход применительно к большинству сварочных процессов, по нашему мнению, менее пригоден, так как через $1\,(10^{-5}\ldots 10^{-6})$ с напряжение на межэлектродном промежутке падает до величины дугового (данные Н.Н.Соболева, Д.Н.Сомервила и др.), и ток через него

равен сумме токов от возбудителя и сварочного источника питания.

Таким образом, описание механизмов возбуждения дуги, существующая теория расчёта требуют дальнейшего развития.

Недостаточно изучены такие особенности возбуждения дуги переменного тока. Для получения рекомендаций к проектированию возбудителей дуги при конкретных способах сварки требуется разработка методики оценки устойчивости дугового разряда, позволяющей оценивать состояние дугового промежутка в процессе сварки.

Борьба с радиопомехами от возбудителей дуги, по мнению исследователей, - наиболее сложная задача, так как требует выполнения целого ряда противоречивых условий. Вместе с тем, недостаточно изучены возможности подавления радиопомех путём изменения параметров возбуждающих импульсов и программ работы возбудителей при конкретных сварочных процессах.

Исходя из вышеизложенного, были поставлены следующие основные задачи:

- обосновать и уточнить модель возбуждения дуги с учётом исследований процессов в сварочной цепи при развитии дугового разряда, установить критерий оценки стабильности возбуждения дуги;
- разработать методику и оценить устойчивость горения дуги при сварке;
- исследовать влияние параметров возбудителей и технологических особенностей возбуждения и стабилизации дуги на создаваемые радиопомехи;
- дать анализ и исследовать входные и выходные цепи возбудителей дуги на основании данных о физических особенностях процессов в сварочной цепи;
- провести промышленную проверку разработанных способов и устройств для возбуждения дуги и определить области их рационального применения.

Во второй главе приводятся результаты исследований процессов в сварочной цепи, выработка обобщенного критерия стабильного возбуждения дуги искровым пробоем, определение оптимальной фазы подачи импульсов при возбуждении дуги переменного тока, разработка методики и оценка устойчивости дуги при сварке.

Процесс развития сварочной дуги из искры рассматривался трёхстадийным: первая стадия - пробой дугового промежутка и образование канала искрового разряда (КИР); вторая стадия - развитие КИР; третья стадия - переход КИР (импульсной дуги) в сварочную, рис.I.

Согласно существующим представлениям напряжения пробоя в области давлений и зазоров, характерных для случая возбуждения сварочной дуги, могут быть найдены на основании теории лавинного пробоя Таундсена (в электрическом поле, близком к однородному). Для условий сварки (форма электрода, газовая среда и т.д.) они определены в работах В.П.Лугина, Укита Исами и др., Б.Я.Тёмкина.

На второй стадии развития КИР состояние межэлектродного промежутка хорошо описывается гидродинамической теорией импульсного дугового разряда. По существующим представлениям (работы М.Н.Соболева, С.М.Брагинского, И.Н.Романенко) уже в начале этой стадии формируются характерные области дуги: столб дуги, катодная и анодная области, и напряжение на межэлектродном промежутке снижается до величины дугового. Величина сопротивления КИР равна

$$R_{CT} = g(4t_\varphi)^{-2/3} \cdot i_1^{-2/3} \cdot t^{1/3}, \qquad (1)$$

где t_φ – время увеличения тока импульса до максимального значения; $g = \left(\frac{2\varepsilon\rho_0}{\pi\sigma^2}\right)^{1/3} \cdot d$; $\varepsilon = K_p\left[1+(\gamma-1)^{-1}\right]$; γ – эффективный показатель адиабаты; d – длина дуги; ρ_0 – начальная плотность газа в разрядном промежутке; $\sigma = (0{,}5 \div 10^2 d)\sigma'$; $\sigma' \approx 3 \cdot 10^3 (Ом \cdot м)^{-1}$

Функция тока i_1, необходимая для определения R_{CT} в данной работе найдена из анализа процессов в схеме замещения сварочной цепи, которая в общем случае содержит источник питания, сопротивление межэлектродного промежутка, а также активные и реактивные сопротивления, вносимые возбудителем дуги и защитными элементами. В установках для аргонодуговой сварки она может содержать также ёмкость, зашунтированную активным сопротивлением, рис.2:

$$i_1 = i_2 + i_3 = U_0\left(\frac{e^{P_2 t} - e^{P_1 t}}{2aL_0} + \frac{t}{L_6}\right), \qquad (2)$$

где U_0 – напряжение холостого хода источника питания при возбуждении дуги; $P_{1,2} = -\beta \pm a$; $\beta = \frac{2R}{2L_0}$; $a = \sqrt{\frac{(R2)^2}{4L_0^2} - \frac{1}{L_0 C}}$;
L_6 – индуктивность сварочной цепи при возбуждении дуги.

Из анализа процессов в схеме замещения сварочной цепи было также установлено, что при

$$R_g \le R_u = \frac{0{,}2U_0}{I_n} - R_c - R1 \qquad (3)$$

время нарастания тока от сварочного источника питания до минимального дугового (I_n) при переходе импульсной дуги в сварочную не зависит от сопротивления дугового промежутка R_g, а определяется индуктивностью сварочной цепи при возбуждении дуги:

$$t_6 = \frac{I_n \cdot L_6}{U_0}. \qquad (4)$$

В результате было получено два условия развития КИР на второй стадии, при выполнении которых энергия и длительность возбуждающих импульсов имеют минимальные значения и обеспечивается развитие сварочной дуги с током Iп:

$$\frac{U_к + U_a}{l_1} + g(4t_ф)^{-2/3} \cdot i_1^{-2/3} \cdot t^{1/3} \le \frac{0{,}2U_0}{I_п} - R_c - R1; \qquad (5)$$

$$t_и \ge t_б = \frac{I_п \cdot L_б}{U_0}, \qquad (6)$$

где $U_к$, U_a – катодное и анодное падение напряжения в дуге;

$t_и$ – длительность возбуждающих импульсов.

На третьей стадии развития КИР справедливо уравнение О.Майра, так как ток и скорость его изменения имеют небольшие значения, рис.I:

$$\frac{dQ}{dt} = U_{g0} I_0 - P_0 = 0, \qquad (7)$$

где Q – энергия тел, входящих в дуговой промежуток; P_0 – мощность рассеяния; U_{g0}, I_0 – напряжение и ток дуги.

Для оценки устойчивости состояния динамического режима дугового промежутка пользуются классическим методом А.М.Ляпунова.

Оценивалась устойчивость дуги в момент времени $t_б$, когда $I_0 = I_п$. В результате были получены условия устойчивого развития дуги по соотношению параметров схемы замещения:

$$R2 \ge R_{g0}; \quad \sqrt{\frac{L_c}{C}} \ge R_{g0}, \qquad (8)$$

где $R_{g0} = \frac{U_g}{I_п}$.

Условия (5),(6) и (8) можно считать обобщенным критерием стабильного возбуждения дуги.

Механизм генерации заряженных частиц на разных стадиях развития КИР имеет разную природу. Электрический разряд в газах обычно возникает при столкновениях электронов с атомами, ведущих к образованию Таунсендовской лавины. Для этого требуется высокое напряжение. На второй и третьей стадиях существование разряда обусловлено образованием заряженных частиц за счёт термической ионизации газа и поддерживается напряжением в несколько десятков вольт. Действительно, выполнение условия (5), обеспечивающего заданную проводимость дугового промежутка для конкретного процесса сварки (т.е. при заданных $U_к$, U_a и g), определяется величиной тока i_1 и длительностью импульсов $4t_ф$ и может осуществляться низковольтным источником питания. На основании вышеизложенного разработан новый способ возбуждения дуги (а.с. № 706209), по которому пробой дугового промежутка осуществляется коротким высоковольтным импульсом, а для расширения искрового канала и под-

держания его проводимости подавался дополнительный низковольтный импульс, который обеспечивал развитие сварочной дуги, рис.I.

Для того, чтобы воспользоваться обобщенным критерием стабильного возбуждения дуги при расчёте возбудителей, опытным путём были определены значения $I_п$, $t_б$ и $L_б$. Трудность определения указанных величин при первоначальном возбуждении дуги искровым пробоем объясняется тем, что искровой разряд создаёт мощные электромагнитные помехи, искажающие картину процесса на экране электронного осциллографа. Для преодоления указанной трудности дуговой промежуток пробивали коротким импульсом длительностью I0...20 мкс, а развитие сварочной дуги обеспечивали за счёт импульса от разряда конденсатора С, рис.2. Установка для определения $I_п$, $t_б$ и $L_б$ включала импульсный возбудитель дуги, обеспечивающий генерацию импульсов с частотой следования от 0 до 50 Гц и регулирование энергии, длительности и фазы подачи импульсов в широких пределах; двухлучевой осциллограф С1-I7; трансформатор ТД-300 и малоиндукционные шунты, включенные в исследуемые цепи.

Применительно к сварке стали покрытыми электродами (УОНИ I3/55, МР-3) и алюминия вольфрамовым электродом в аргоне было установлено, что при $I_п$=3А вероятность зажигания составляла 45%, при $I_п \geq$ 5А – I00%; на минимальном токе 50А $t_б$ = 90 мкс, $L_б$ =2,0х$I0^{-3}$ Гн; индуктивность сварочной цепи при возбуждении дуги в 2...2,5 раза меньше, чем в процессе сварки.

Из обобщенного критерия с учётом экспериментальных данных были получены параметры возбудителя дуги: энергия высоковольтного импульса 0,00I3...0,00I Дж, длительность I0...20 мкс; ёмкость защитного конденсатора С = I0 мкф, сопротивление $R2$ = 7...9 Ом.

Особенности возбуждения дуги переменного тока накладывают дополнительные требования на возбудители дуги: по фазе подачи импульсов и по времени работы в начале сварки.

Из экспериментальных и теоретических исследований процессов в дуговом промежутке в начале сварки было установлено, что угол сдвига фаз между током и напряжением холостого хода сварочного трансформатора φ в начале и в процессе сварки на токах свыше 50А отличаются незначительно, поэтому оптимальная фаза подачи импульсов ψ' может быть определена из выражения:

$$\psi' \approx \varphi = \arccos \frac{2\pi U_д}{2U_m}$$

Время неустойчивого горения дуги, определяющее время работы возбудителя $t_р$, обратно пропорционально вводимой в дуговой проме-

жуток мощности q. Для сварки алюминия вольфрамовым электродом в аргоне

$$t_p = \frac{6,3}{q}. \qquad (9)$$

Обобщенный критерий и проведенные исследования позволяют рассчитать также параметры возбудителя для стабилизации дуги переменного тока по новому способу (а.с.№497107), согласно которому оценивается состояние дугового промежутка и подаются стабилизирующие импульсы в полупериоды сетевого напряжения, соответствующие возможному обрыву дуги.

Рекомендации к проектированию возбудителя, обеспечивающего осуществление этого способа, были получены из оценки устойчивости дуги по состоянию дугового промежутка в процессе сварки. Состояние промежутка оценивали по напряжению на нём после перехода тока через 0. При напряжении на дуговом промежутке $U_з \geq U_m \cdot \sin\varphi$ и приближении к U_m, подавали стабилизирующие импульсы, регистрировали их количество и об устойчивости дуги судили по числу зарегистрированных за время сварки импульсов, равных числу возможных обрывов дуги. Наряду с простотой получения данных, важным преимуществом разработанного способа оценки устойчивости дуги, по сравнению с другими, являются сведения о количестве стабилизирующих импульсов в секунду, что позволяет подсчитать потребляемую мощность стабилизатора дуги.

Было установлено, что при сварке стали электродами УОНИ 13/55 количество возможных обрывов дуги в секунду (n), определяющее количество стабилизирующих импульсов, $\leq 10\ с^{-1}$, т.е. продолжительность работы стабилизатора не превышала 20% от общего времени сварки.

В главе 3 дан анализ наиболее распространённых зарядных и разрядных цепей возбудителей дуги и исследованы процессы в них при генерации импульсов.

Было установлено, что в цепях с индуктивным ограничительным сопротивлением за счёт резонансного эффекта напряжение на накопительном конденсаторе может во много раз превосходить напряжение питания, поэтому в них, с целью упрощения конструкции осциллятора входной повышающий трансформатор целесообразно заменить простым дросселем (а.с.№ 488667).

В цепях с активным ограничительным сопротивлением при постоянной времени цепи заряда $\tau_з = 0,003$ с напряжение на конденсаторе и энергия, запасаемая в нём, приближаются к максимальным значениям, фаза генерации импульсов имеет оптимальное значение.

Из обработки данных, полученных моделированием процессов в зарядной цепи с диодом на аналоговой машине МН-7, была получена величина сопротивления R, которая обеспечивает заряд конденсатора за заданный интервал времени (количество периодов m) до заданного напряжения $U_{сп}$:

$$R = X_C \sqrt{\frac{1}{1-\sqrt[m]{\frac{U_m - U_{сп}}{U_m}}} - 1}, \qquad (10)$$

где X_C – ёмкостное сопротивление цепи заряда; U_m – амплитуда напряжения питающей сети.

Выражение (10) позволяет рассчитать величину R, обеспечивающую заданную частоту следования и энергию импульсов.

Из исследования выходных цепей были получены зависимости токов и напряжений от параметров выходного трансформатора, сварочной цепи и ёмкости накопительного конденсатора, что облегчило проектирование возбудителей дуги.

В главе 4 дан анализ конструктивных особенностей выходных высокочастотных трансформаторов, применяемых в возбудителях сварочной дуги, и исследованы радиопомехи, создаваемые сварочным постом с различными возбудителями.

Расчётами показано, что при снижении собственной ёмкости выходного трансформатора эффективность передачи энергии на дуговой промежуток возрастает. Для этой цели предложены конструкции трансформаторов на расщепленных сердечниках (а.с.№561638 и №568232) и изготовлены трансформаторы из типовых узлов на сварочный ток до 1000 А.

Радиопомехи определялись в процессе возбуждения и горения дуги в соответствии с ГОСТ 16842-76 и с учётом особенностей работы сварочного поста.

Были исследованы серийные устройства ОСПЗ-2М-I, ОСППЗ-300МI, УПД-I и разработанные устройства: искровой осциллятор ОБ-I, импульсные возбудители дуги ОБФ, ОБК, ГИБ-2 (эти устройства описаны в главе 5), а также генераторы импульсов с различной частотой, длительностью и амплитудой импульсов. Все серийные устройства создавали радиопомехи выше предельно допустимых значений. Наибольший уровень поля радиопомех имеет осциллятор параллельного включения ОСПЗ-2М-I на частоте 0,55 МГц (свыше 75 дБ). У возбудителей последовательного включения ОСППЗ-300МI и УПД-I они не выше 63 дБ (соответственно на частоте 3 МГц и 0,3 МГц). Снижение энергии высоковольтных импульсов с 0,I Дж (у серийных устройств) до 0,00I Дж (у ОБ-I) значительно уменьшило общий уровень радиопомех,

причём максимальная напряжённость поля радиопомех не превышала 51 дБ (на частоте 3 МГц).

Из анализа влияния частоты следования и параметров импульсов на радиопомехи вытекают три основные пути их подавления:
- сокращением частоты следования импульсов ниже опорной частоты 100 Гц (при прочих равных условиях снижение частоты следования импульсов от 100 Гц до 1...2 Гц уменьшает радиопомехи в 4...6 раз);
- программированием работы возбудителя (радиопомехи будут ниже допустимых при включении осциллятора на 0,2 с и паузе 2 с);
- уменьшением частоты собственных колебаний импульсов ниже 150 Гц.

Применение указанных мероприятий с учётом особенностей возбуждения дуги при конкретных сварочных процессах позволили разработать устройства с радиопомехами ниже предельно допустимых: возбудители ОБК и ГИБ-2. Во всём контролируемом диапазоне радиопомехи не превышали 30 дБ, причем при работе в непосредственной близости (5...7 м) от радиоприёмника и телевизора и при питании от одной сети с ними возбудители не мешали приёму передач.

В главе 5 описаны новые конструкции возбудителей дуги и опыт их промышленного применения, а также дан сравнительный анализ серийных и разработанных устройств, определена их эффективность применительно к конкретным сварочным процессам.

Для возбуждения дуги при сварке в монтажных условиях разработаны маломощные искровые осцилляторы последовательного включения типа ОБ. Осцилляторы обеспечивают высокую эффективность действия при сварке алюминия и его сплавов вольфрамовым электродом в аргоне, а также при ручной сварке покрытыми электродами любых типов и имеют пониженный уровень радиопомех.

Они встроены в серию установок для аргонодуговой сварки, разработанных в БИТМ и внедрённых на предприятии "Туркменэнергоремонт". Установки применяются при монтаже и ремонте электростанций, главным образом для сварки шин из чистого алюминия. Упрощенная конструкция осциллятора (авт.свид.№592537) используется в серии установок для точечной аргонодуговой сварки, внедрённых в Государственном союзном тресте "Монтажремонтизделие" и в установке для наплавки в аргоне вольфрамовым электродом рифлёных валков на Чернятинском стекольном заводе.

На предприятиях "Союзэнергоремонт" осцилляторы типа ОБ-1 внедрены для возбуждения и стабилизации дуги при сварке ограждающих конструкций и изделий из алюминия и его сплавов.

Имеется опыт использования осцилляторов на простейших сварочных

постах при сварке низколегированных сталей электродами УОНИ 13/55. Они внедрены в тресте "Кубаньоргтехводстрой" и применяются при изготовлении конструкций гидротехнических сооружений, к которым относятся арматурные каркасы, закладные детали и т.п. Сварка часто ведётся в различных пространственных положениях в труднодоступных местах, выполняется большое количество коротких швов. Применение возбудителей позволяет увеличить производительность труда на 10...25%.

Повышению эффективности сварочных работ способствует применение трансформаторов со стабилизаторами дуги для сварки электродами фтористо-кальциевого типа. Для этих целей разработан генератор импульсов ГИБ-2 (а.с.№653051), который оценивает состояние дугового промежутка и подаёт стабилизирующие импульсы только в те полупериоды сетевого напряжения, в которые возможны обрывы дуги. Оценка осуществляется узлом управления, который запускает тиристорный коммутатор при $U_m \geqslant U_з \geqslant U_m \sin \varphi$. ГИБ-2 используется для ремонтных и монтажных работ в непосредственной близости от жилых зданий на предприятиях "Главбрянскпромстроя".

С целью дальнейшей апробации обобщённого критерия надёжного зажигания дуги и других разработок были исследованы возможности их использования для возбуждения дуги под флюсом и в плазмотронах.

При сварке под флюсом применяли импульсный возбудитель дуги ОБФ, состоящий из импульсного источника питания, катушки зажигания Б-51, колебательного контура с искровым разрядником и выходного высокочастотного трансформатора последовательного включения, рассчитанного на сварочный ток 1000 А. Модификация устройства - возбудитель ОБФ-1 генерировал один высоковольтный импульс в полупериод; ОБФ-2 обеспечивал осуществление способа по а.с.№706209 (подачу двух импульсов: высоковольтного и низковольтного).

Было установлено, что при возбуждении одним импульсом при переходе тока через 0 дуга часто угасала, так как импульс шунтировался перемычками из расплавленного флюса. При возбуждении дуги по новому способу при длине пробиваемого промежутка $\geqslant 4,5$ мм вероятность возбуждения дуги составляла 100% в диапазоне токов до 1000 А.

В связи с распространением в производстве систем с программным управлением, чувствительных к электромагнитным помехам, важно знать влияние возбудителей дуги на их работоспособность.

Исследования проводились на установке для воздушно-плазменной резки типа "Кристалл". Было установлено, что высокочастотные ос-

циллятора, независимо от мощности импульсов, вызывают сбои программы. При снижении частоты собственных колебаний импульсов случаи сбоев наблюдались реже, но вместе с этим быстро возрастали габариты и масса возбудителей дуги (объём магнитопровода выходного высокочастотного трансформатора обратно пропорционален собственной частоте импульсов). В разработанном устройстве ОБК-2 частота собственных колебаний импульсов составляла 65 кГц, частота следования импульсов - 4 Гц. При продолжительности включений 0,3 ...0,5с (согласно технической характеристике установки) возбудитель генерировал I...2 импульса на каждое включение, что снизило радиопомехи в 3...4 раза по сравнению с серийными устройствами.

Возбудитель ОБК-2 внедрён в заготовительном цехе ПО "Брянский машиностроительный завод". Он обеспечивает надёжное возбуждение дуги при использовании мощного плазмотрона ПВР-402У3, что позволяет расширить диапазон толщин разрезаемых деталей с 25 до 80 мм.

Оценку эффективности действия возбудителей дуги для конкретных способов сварки производили по длине пробиваемого промежутка, по обобщённому критерию и по фазе подачи импульсов применительно к сварке алюминия в аргоне вольфрамовым электродом и сварке сталей покрытыми электродами. Было установлено, что возбудители дуги с тиристорными коммутаторами типа УПД-I и ВСД-01У3 непригодны для возбуждения дуги при сварке покрытыми электродами (ограничение по длине пробиваемого промежутка). Осциллятор ОСПЗ-2М-I генерирует импульсы с отставанием от оптимальной фазы подачи, поэтому он малоэффективен при возбуждении дуги переменного тока.

Наиболее полно удовлетворяют требованиям сварки по эффективности действия осцилляторы типа ОБ-I и ОСПЗ-300М. Однако по сравнению с ОБ-I масса последнего в три раза больше, значительно выше и уровень создаваемых радиопомех.

Общий экономический эффект от внедрения результатов работы в настоящее время составляет более 50 тыс.рублей в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

I. Анализ физических моделей возбуждения дуги искровым пробоем, существующей теории расчёта возбудителей дуги показывает, что описания механизмов возбуждения дуги не учитывают особенностей реальных сварочных процессов, расчёт ведётся без учёта физических явлений в дуговом промежутке при конкретных способах сварки. Отсутствует достоверный критерий стабильности зажигания сва-

рочной дуги. Широкая номенклатура возбудителей дуги, построенных на разных принципах, не в полной мере удовлетворяет требованиям сварочного производства по эффективности, по габаритам и массе, по радиопомехам.

2. Разработан обобщённый критерий стабильности возбуждения дуги искровым пробоем, учитывающий особенности конкретных сварочных процессов и устанавливающий условия стабильного возбуждения дуги по энергии и длительности импульсов, по параметрам схемы замещения сварочной цепи и по величине тока перехода импульсной дуги в сварочную (In). Разработанный критерий совместно с условиями по длине пробиваемого промежутка и фазе подачи импульсов позволяет оценить эффективность действия возбудителей дуги применительно к конкретным способам сварки.

3. Установлено, что для сварки сталей покрытыми электродами и алюминия вольфрамовым электродом при $In \geqslant 5$ А вероятность зажигания дуги составляет 100%. При сопротивлении дугового промежутка ≤ 4 Ом время развития сварочной дуги имеет минимальное значение и определяется индуктивностью сварочной цепи.

4. Разработана методика оценки устойчивости дуги по состоянию дугового промежутка в течение всего процесса сварки. Методика позволяет определить продолжительность работы возбудителей дуги, выяснить влияние состава покрытия, режима сварки, источников питания и т.д. на устойчивость процесса сварки. Установлено, что для сварки на переменном токе время неустойчивого горения дуги в начале процесса, являющееся временем работы возбудителя (t_p), обратно пропорционально мощности сварочной дуги q. Для сварки алюминия в аргоне вольфрамовым электродом $t_p = \frac{63,1}{q}$. При сварке стали на переменном токе электродами УОНИ 13/55 количество возможных обрывов дуги, определяющее количество стабилизирующих импульсов, $\geqslant 10 c^{-1}$, т.е. продолжительность работы стабилизатора не превышает 20% от общего времени сварки.

5. Установлено, что для параметров возбудителей дуги, полученных из обобщённого критерия стабильного зажигания дуги, индуктивность зарядной цепи накопительного конденсатора может быть настроена в резонанс с последним, что позволяет заменить входной повышающий трансформатор простым дросселем. В цепи заряда с активным ограничительным сопротивлением оптимальная постоянная времени заряда накопительного конденсатора $\tau_з = 0,003$ с.

Показано расчётом и подтверждено экспериментально, что напряжение искровых маломощных возбудителей дуги резко снижается при

подключении к сварочным головкам типа АВС, АВСК. Свободны от указанного недостатка импульсные возбудители дуги.

6. Из исследований особенностей возбуждения дуги при различных способах сварки и анализа частотных спектров радиопомех, создаваемых возбудителями, вытекают три основные пути подавления радиопомех:

- сокращением частоты следования возбуждающих импульсов ниже опорной частоты 100 Гц (при прочих равных условиях снижение частоты следования импульсов от 100 Гц до 1...2 Гц уменьшает радиопомехи в 4...6 раз);
- программированием работы возбудителя (радиопомехи ниже предельно допустимых при включении осциллятора на 0,2 с и паузе 2 с);
-уменьшением частоты собственных колебаний импульсов ниже 150кГц.

7. Разработаны и реализованы на практике новые способы и устройства для первоначального и повторного возбуждения сварочной дуги, обеспечивающие высокую эффективность действия и пониженный уровень радиопомех при небольших габаритах и массе устройств.

8. Разработанные возбудители дуги встроены в универсальные установки для непрерывной и точечной аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом, предназначенные для работы в монтажных условиях, а также в машины для плазменной резки типа "Кристалл". Опыт промышленного использования показал их высокую эффективность, надёжность в работе и хорошую электромагнитную совместимость возбудителей с блоками управления установок.

9. Применение разработанных устройств с серийными сварочными трансформаторами позволяет повысить производительность труда на 10...25%, использовать для сварки качественные электроды, снизить расход электроэнергии, повысить мобильность сварочного оборудования, уменьшить трудоемкость вспомогательных и транспортных операций. Общий экономический эффект от внедрения результатов работы превышает 50 тыс.рублей в год.

Основные положения диссертации опубликованы в 30 работах, в том числе:

1. Лесков Г.И., Лугин В.П., Светлов А.Т. Подавление радиопомех, создаваемых возбудителями и стабилизаторами дугового разряда. - Автоматическая сварка, 1976, № 10, с.56-59.
2. Лугин В.П., Светлов А.Т. Бесконтактный прерыватель дуги при сварке переменным током. - Сварочное производство, 1977, № 1, с.47-48.

3. Лугин В.П., Светлов А.Т. Автоматизация процесса возбуждения электрической сварочной дуги. - Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении. Тезисы докладов IУ Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции. М.: МВТУ им.Н.Э.Баумана, 1975, с.8-9.
4. Лугин В.П., Светлов А.Т., Коряжкин В.В. Автоматизация процессов первоначального и повторного возбуждения сварочной дуги. - В сб.: Управление сварочными процессами. Тула: ТПИ, 1977, с.46-51.
5. Лугин В.П., Светлов А.Т. Новые конструкции возбудителей и стабилизаторов сварочной дуги. - Разработка, исследование и внедрение новых источников питания сварочной дуги. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. Вильнюс, 1981, часть П, с.20-24.
6. Лугин В.П., Светлов А.Т. Повышение эффективности искровых сварочных осцилляторов. - В сб.: Совершенствование технологии сварки и наплавки в машиностроении. Брянск: ЦНТИ, 1972, с.64-68.
7. Лесков Г.И., Лугин В.П., Светлов А.Т. Стабилизация дуги переменного тока при сварке плавящимся электродом. - В сб: Управление сварочными процессами. Тула: ТПИ, 1979, с.101-107.
8. Лугин В.П., Коряжкин В.В., Светлов А.Т. Исследование процессов в зарядных цепях возбудителей и стабилизаторов сварочной дуги. - В сб.: Технология машиностроения. Тула: ТПИ, 1979, с.98-102.
9. А.с. №497107 (СССР). Способ стабилизации дуги переменного тока при сварке плавящимся электродом. Г.И.Лесков, В.П.Лугин, А.Т.Светлов. - Опубл. в Б.И., 1975, № 48.
10. А.с. № 653051 (СССР). Устройство для стабилизации дуги переменного тока. Г.И.Лесков, В.П.Лугин, А.Т.Светлов. - Опубл. в Б.И., 1979, № 11.
11. А.с. №706209 (СССР). Способ возбуждения электрической дуги. В.П.Лугин, А.Т.Светлов. - Опубл. в Б.И., 1980, № 48.
12. А.с. № 595098 (СССР). Способ оценки устойчивости горения сварочной дуги. В.П.Лугин, А.Т.Светлов.- Опубл.в Б.И., 1978, №8.
13. А.с. №488667 (СССР). Осциллятор для возбуждения и стабилизации горения сварочной дуги. В.П.Лугин, А.Т.Светлов.- Опубл. в Б.И., 1975, № 39.

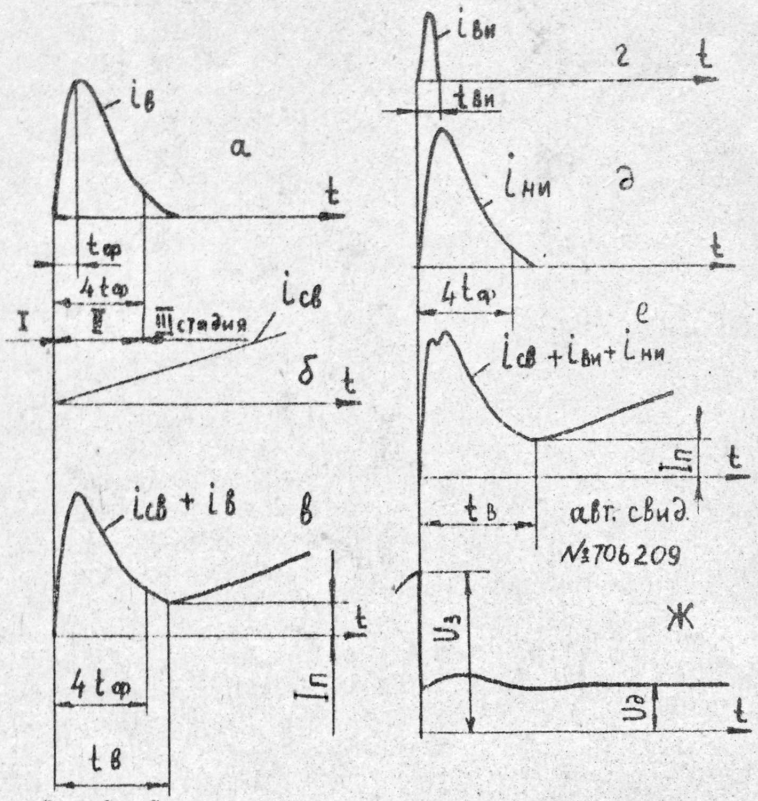


Рис. 1. Составляющие дугового тока и их суммарные значения при различных способах возбуждения дуги

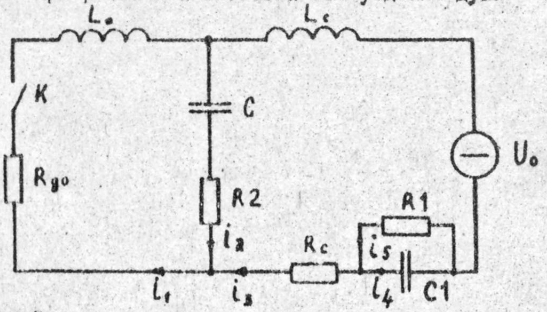


Рис. 2. Эквивалентная схема сварочной цепи с осциллятором при возбуждении дуги

МВТУ