

М 325806

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское

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

На правах рукописи

РОМАНЕНКОВ Егор Иванович

НА ДОМ
НЕ СДАЕТСЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ В АРГОНЕ И
РАЗРАБОТКА РЕГУЛЯТОРА ДЛИНЫ ДУГИ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ
ДАТЧИКОМ

(специальность 05.04.05. - Технология и машины сварочного
производства)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское

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

На правах рукописи

РОМАНЕНКОВ Егор Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ В АРГОНЕ И
РАЗРАБОТКА РЕГУЛЯТОРА ДЛИНЫ ДУГИ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ
ДАТЧИКОМ

(специальность 05.04.05. - Технология и машины сварочного
производства)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

НТБ МГУ им. Н.Э.Баумана



1325806

Романенков Е.И. 1325806

Москва

1977

17325806

Работа выполнена в Научно-исследовательском и
конструкторском институте монтажной технологии
/НИКИМТ/

Научный руководитель
кандидат техн. наук,
доцент

Л.Е.Алекин

Научный консультант
кандидат техн. наук

В.А.Виноградов

Официальные оппоненты:
доктор техн. наук
кандидат техн. наук

А.И.Акулов

Э.А.Гладков

Ведущее предприятие указано в решении специализированного совета

Защита состоится " ____ " _____ 197 ____ г.
на заседании специализированного совета по технологии и
машинам сварочного производства Московского ордена Ленина
и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического
училища им. Н.Э.Баумана по адресу: г.Москва, 107005, 2-я
Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью,
просим выслать по указанному адресу.

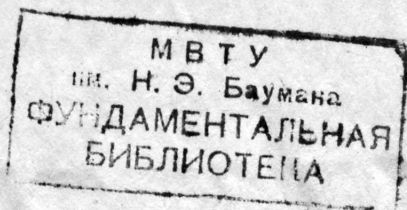
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Баумана.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1977г.

Ученый секретарь специализированного совета
доктор техн. наук, доцент

В.М.Ямпольский

Л 80069. Под. к печ. 18.07.77. Объем 1п.л. Тип. МВТУ. Заказ 1254
Тир. 100 экз.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В промышленности в большом объеме применяются сварные тонкостенные изделия. В частности, развитие техники требует производства многослойных сильфонных компенсаторов объема диаметром 2-10 метров, что может быть выполнено только методом сварки с применением специализированного оборудования, спроектированного с учетом особенностей процесса. Требование высокой стабильности и концентрации энергии источника нагрева обеспечивается при сварке в инертной атмосфере сжатой или короткой дугой.

Актуальность. Одна из возможностей повышения качества сварного шва тонкостенных изделий - разработка нового способа стабилизации длины короткой дуги. Стабилизация длины короткой дуги необходима при сварке сильфонных компенсаторов на установках с клавишными прижимами, где возмущения по внешней составляющей длины дуги достигают 1 мм. Известные способы не обеспечивают стабилизацию оптимальной для сварки сильфонов длины дуги ($l_d \leq 0,5$ мм), поэтому сварку ведут короткой дугой, стабилизируя ее длину вручную, что не обеспечивает требуемое качество шва и приводит к браку до 30%. Автоматическая стабилизация длины короткой дуги может быть реализована при использовании спектрального излучения дуги.

Цель данной работы - создать регулятор, обеспечивающий стабилизацию длины дуги в нелинейной зоне регулировочной характеристики $l_d = f(l_d)$.

Методы исследования. Расчеты и эксперименты, цель которых состояла в изучении оптического излучения плазмы малоамперной сварочной дуги, проведены спектральными методами. С использованием данных методов созданы спектральные датчики длины дуги. Методы расчета состава и измерения абсолютных интенсивностей были доработаны с учетом особенностей объекта исследований и измерительной аппаратуры. Регулятор длины дуги разработан с помощью методов теории автоматического регулирования.

Научная новизна. В результате теоретических исследований установлена сложная немонотонная зависимость концентрации элементов от температуры в двухкомпонентной плазме

аргон-железо. В результате экспериментальных исследований установлена зависимость интенсивности излучения аргона от параметров режима сварки, определена связь излучения различных компонент с теплофизическими свойствами дуги, установлена неравновесность плазмы короткой сварочной дуги в аргоне.

Практическая ценность. Разработан принципиально новый регулятор, обеспечивающий технологически необходимую точность стабилизации длины короткой дуги $\pm 0,05$ мм при $l_d \leq \leq 0,5$ мм.

Регулятор установлен на промышленной установке СА-179 и используется для сварки тонкостенных стыковых и нахлесточных соединений крупногабаритных сильфонных компенсаторов диаметром до 2600 мм. Регулятор применяется в серийно выпускаемых сварочных установках СА-320 для сварки бортовых и стыковых соединений тонкостенных изделий. Применение регулятора длины дуги со спектральным датчиком существенно повышает качество сварного шва за счет увеличения стабильности его размеров, уменьшает брак в 3 раза, увеличивает производительность в 1,3 раза и улучшает условия труда. Экономический эффект составляет 10000 рублей в год на одну установку.

Апробация. Содержание диссертации доложено: на семинаре по низкотемпературной плазме в ИНХС АН СССР, на семинаре "Автоматизация сварочных процессов" в Московском доме техники, на научно-технической конференции-семинаре "Результаты научных разработок и опыт применения сварки на московских предприятиях", на семинаре кафедры сварки МВТУ им. Баумана. По результатам исследований получено авторское свидетельство и опубликовано 7 статей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и выводов по работе, ее содержание изложено на 118 страницах машинописного текста; работа содержит 48 рис., 6 табл., 105 литературных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I посвящена анализу состояния вопроса и постановке задачи исследования. Основные критерии качества сварных

швов (КСШ) тонкостенных изделий из аустенитных сталей взаимно коррелированы. Одним из основных критериев качества являются геометрические размеры швов (ГРШ), зависящие от параметров режима сварки (ПРС). Наличие различных возмущений требует стабилизации ПРС.

Разработанный А.В.Петровым способ сварки тонкостенных стыковых соединений с принудительным формированием сварного соединения неприменим для сварки обечаек сильфонных компенсаторов большого диаметра ($\varnothing$ 2600 мм), поэтому сварку указанных изделий ведут на установках с клавишными прижимами. В этих условиях необходимость коррекции положения горелки относительно стыка и наличие возмущений по внешней составляющей длины дуги ($\Delta \ell_d = \pm 1$ мм) не позволяет использовать горелки закрытой дуги, и поэтому сильфоны сваривают дугой в аргоне.

Сварка малоамперной дугой эффективна при очень малой ее длине ($\ell_d = 0,2-0,5$ мм), при этом длину дуги необходимо стабилизировать с высокой точностью. Стабилизация длины короткой дуги вручную неэффективна, приводит к большому браку при низкой производительности труда.

Расчетные и экспериментальные оценки показали неработоспособность известных способов регулирования при длине дуги, оптимальной для сварки тонкостенных изделий, в частности сильфонов. Неработоспособность копиров, пневматических и оптических датчиков определяется получением информации из зоны, удаленной от места сварки.

Способ АРНД неработоспособен вследствие существенной нелинейности в зависимости напряжения от длины дуги. Способ регулирования длины дуги по ее интегральному излучению, как показали наши эксперименты, неработоспособен при коротких дугах. Как и зависимость напряжения от длины дуги, связь интенсивности излучения с длиной дуги существенно нелинейна. Кроме того, стабильность интенсивности интегрального излучения не достаточна для стабилизации короткой длины дуги ($\ell_d \leq 0,5$ мм).

В связи с принципиальными трудностями получения информации о длине короткой дуги известными способами необходимо

изыскать новые источники такой информации. С этой целью нами предложено использовать спектральное излучение защитной атмосферы, в частности, аргона, а также излучение фона.

Для разработки регулятора длины дуги по ее излучению необходимо провести теоретическое и экспериментальное исследования спектрального излучения плазмы сварочной дуги в аргоне, выявить оптимальные параметры излучения и выделить полезный сигнал. Для реализации данного способа необходимо разработать датчики и систему автоматического регулирования длины дуги.

В соответствии с этим сформулированы основные задачи работы.

1. Исследование оптического излучения сварочной дуги в аргоне.
2. Разработка малогабаритных спектральных датчиков и определение их характеристик.
3. Проектирование и реализация регулятора длины дуги со спектральным датчиком.

Решение этих задач обеспечивает существенное повышение эффективности процесса сварки тонкостенных изделий за счет стабилизации размеров шва, увеличения производительности труда и улучшения условий труда сварщика.

В главе II представлены результаты исследования излучения сварочной дуги в аргоне. При этом изложены современные представления о спектральном излучении низкотемпературной плазмы, представлена система уравнений, связывающая интенсивность излучения с температурой, составом и свойствами элементов многокомпонентной плазмы, проанализированы основные работы, посвященные исследованию аргонных дуг, отмечено отсутствие данных об исследовании спектра защитной атмосферы для автоматизации процесса сварки. В связи с этим для создания регулятора длины короткой дуги были проведены детальные исследования спектральной эмиссии дуговой плазмы.

Состав двухкомпонентной плазмы аргон-железо и спектральные интенсивности аргона и железа вычислены решением системы уравнений Эйнштейна-Больцмана, Саха, Дальтона, квазинейтральности и соотношения компонент.

Из расчета следует, что даже при малой концентрации железа (1%) в двухкомпонентной плазме, интенсивность линий атомов и, особенно, ионов железа (помеха) может быть намного выше интенсивности линий аргона (сигнала). Из расчета следует, что плазму дуги с концентрацией металлов больше одного процента нельзя нагреть до высоких температур ($T > 10^4 \text{ K}$). Кроме того, расчет показал, что в двухкомпонентной плазме с существенно отличными потенциалами ионизации компонент зависимость концентрации частиц от температуры в отличие от однокомпонентной плазмы не является монотонной. Это приводит к появлению нескольких известных из литературы максимумов в зависимости интенсивности спектральных линий от температуры.

Экспериментальные исследования выполнены на установке со спектрографом ДФС-8 (решетка - 600 штрихов на миллиметр) фотографическим и фотоэлектрическим способами. Установка была исследована на точность. Регистрацию измеряемых величин осуществляли с помощью фотопластинок, осциллографов СИ-19Б, СИ-18 с фотоаппаратом или самопишущих приборов Н-39, ПДС-021М. Для получения статистических данных при локальных измерениях спектральных интенсивностей на X-координату прибора ПДС-021М подавали пилообразное напряжение, синхронизированное с перемещением поперечной цели на спектрографе.

Локальные измерения интенсивностей показали, что атомы аргона излучают относительно равномерно по токопроводящему столбу дуги, ионные линии аргона высвечиваются в непосредственной близости от W-катода, металлы свариваемого изделия излучают у анода и из периферийных неэлектропроводящих зон, линии металлов катода - в непосредственной близости от него. При этом интенсивность линий ионов аргона аномально высока для обычной температуры дуги в аргоне (1,0-1,5) $\cdot 10^4 \text{ K}$. При измерениях плотности излучения, как показали исследования численных методов решения уравнения Абиля, вполне приемлемыми являются методы Неотера-Олсена и Белески. Методом самопросвечивания показано, что плазма малоамперной дуги в аргоне практически прозрачна: излучение, за исключением резонансных линий марганца и хрома, не поглощается, поэтому

информацию о длине дуги по ее спектральному излучению можно получать при любом положении датчика относительно дуги. При отсутствии самопоглощения величина сигнала о длине дуги определяется локальной температурой компонент плазмы.

Измерения температуры дуги спектральными методами, выполненные для выяснения особенностей локальных интенсивностей излучения атомов и ионов аргона, показали, что в плазме аргоновой дуги у катода нарушено термодинамическое равновесие, при этом температура ионов аргона на $6 \cdot 10^3 \text{ K}$ выше температуры атомов и составляет $1,7 \cdot 10^4 \text{ K}$. Нарушением равновесия объясняется аномально высокая интенсивность линий ионов аргона, наличие которых в выбранном участке спектра существенно изменяет точность и чувствительность способа регулирования длины дуги по ее спектральному излучению. Температура вольфрамового электрода составляет 3000° K , что недостаточно для обеспечения термоэлектронной эмиссии с W-катода, его излучение во много раз ниже интенсивности линий аргона и поэтому не является существенной помехой. Концентрация металлов в дуге оценена методом самопоглощения и не превышает 1%. Такие концентрации, практически не влияя на состав и электропроводность дуги, оказывают существенное влияние на излучение, следовательно, на величину помехи. Таким образом, необходима тщательная фильтрация излучения металлов. Зависимость спектральных интенсивностей от параметров режима сварки определена измерением абсолютных интенсивностей методом бесщелевой спектрометрии. Интенсивность линий атомов аргона (Ar I) сильно зависит от длины дуги (рис. 1), особенно для коротких малотоковых дуг. Существенно, что стабильность интенсивности линий Ar I повышается с уменьшением длины дуги. Оценки стабильности с доверительной вероятностью 0,999 показывают возможность получения информации о длине дуги ($l_d \leq 0,5 \text{ мм}$) с точностью $\pm 0,05 \text{ мм}$. Используя интенсивность линий ионов аргона (Ar II), можно стабилизировать лишь весьма короткую малотоковую дугу ($l_d \leq 0,2 \text{ мм}$). Интенсивность атомных и ионных линий аргона существенно зависит от тока сварки, поэтому при стабилизации

длины дуги по ее излучению необходимо применение источника с крутопадающей ВАХ, либо введение обратной связи, компенсирующей изменение сигнала, связанное с колебаниями тока сварки.

Угол заточки ψ электрода (α) влияет на интенсивность линий аргона, особенно линий Ar II . Максимальная интенсивность соответствует $\alpha = 30-45^\circ$, при которых наблюдается максимальное проплавление. При $\alpha = 30^\circ \pm 15^\circ$ интенсивность линий Ar I практически не меняется. Спектральные интенсивности линий аргона слабо зависят от скорости сварки, расхода защитного газа, материала анода. Следовательно, помехи, связанные с нестабильностью параметров режима сварки, практически устраняемы. Спектральные исследования показали принципиальную возможность стабилизации длины короткой дуги с использованием излучения атомов аргона при условии фильтрации помех, связанных с излучением металлов.

Глава III посвящена разработке малогабаритных спектральных датчиков. Спектральным датчиком мы называем устройство, состоящее из монохроматора излучения и преобразователя световой энергии в электрическую. Кроме общих требований к датчику как элементу САР, его качество необходимо определять совокупностью свойств, позволяющих эффективно использовать датчик в условиях сварки. По сравнению с применяемым оборудованием датчик должен быть простым по конструкции, надежным и долговечным в эксплуатации, иметь высокую помехозащищенность и стабильность характеристик, быть малогабаритным и дешевым. Анализ сигнала и технических средств его выделения, проведенный для разработки датчика, показал:

- для выделения сигнала необходимо использовать участки спектра шириной до 100Å, в которых отсутствуют интенсивные линии металлов свариваемого изделия;

- наиболее целесообразным, в смысле помехозащищенности, точности и чувствительности, является выделение спектральных интервалов, содержащих весьма интенсивные красные и инфракрасные линии атомов аргона;

- наиболее целесообразным, в смысле светосилы, простоты, надежности, габаритов и стоимости, является использование

выпускаемых промышленностью интерференционных светофильтров;

- величина интенсивности линий аргона в короткой малоамперной дуге достаточна для ее преобразования в электрический сигнал с помощью выпускаемых промышленностью маломинерционных, линейных, простых по конструкции, надежных в эксплуатации, малогабаритных и дешевых фототриодов или фотодиодов.

Из спектральных характеристик интерференционных светофильтров и полупроводниковых фотоэлементов, определенных с помощью установки для исследования излучения дуги (гл.П), следует, что наибольшая помехозащищенность, чувствительность и точность обеспечивается при выделении участков спектра на длинах волн 7510 и 8010А при использовании кремниевых фототриодов ФТ-1К или фотодиодов ФД-24К.

По результатам исследований разработаны и изготовлены малогабаритные спектральные датчики, обладающие всеми свойствами, необходимыми при сварке в заводских условиях. Размер датчика с фототриодом $\varnothing 15 \times 40$ мм, с фотодиодом $\varnothing 25 \times 20$ мм, вес составляет 20-30 грам (рис.2). Величина сигнала датчиков достаточна для его усиления с помощью серийно выпускаемых промышленностью усилителей.

Применение датчиков не ограничивается получением информации о длине дуги. Так, определенным расположением датчиков может быть получена информация о внешней и скрытой составляющей длины дуги, о положении горелки относительно отыка при сварке бортовых соединений. Такая информация может быть использована при создании АСУ ТП сварки.

В главе IV представлены результаты исследований влияния параметров режима сварки на ГРШ, необходимые для определения диапазона длин дуг, обеспечивающих при сварке сильфонных компенсаторов получения требуемого качества шва, а также для определения технических требований к регулятору длины дуги при сварке тонкостенных изделий. Из экспериментов, выполненных в условиях близких к реальным для сварки сильфонных компенсаторов, следует:

- длина дуги, ток и скорость сварки сильно влияют на ширину и толщину шва стыкового соединения и глубину проплавления бортового соединения;

— существенное влияние на ГРШ оказывают неконтролируемые возмущения (изменение теплоотода, блуждание анодного пятна, наличие окисной пленки и загрязнений на поверхности шва), при этом с уменьшением длины дуги влияние этих факторов снижается и стабильность ГРШ повышается.

Увеличение проплавляющей способности дуги при уменьшении ее длины от 0,5 мм косвенно подтверждает, что напряжение дуги повышается при этом за счет увеличения прианодного падения напряжения. Анализ реальных возмущений параметров режима сварки показал, что для обеспечения требуемого качества шва по его геометрическим размерам сварку необходимо вести короткой дугой стабилизированной с высокой точностью, в частности, при сварке стыковых соединений толщиной 0,35 мм необходимо, чтобы $\delta d \leq 0,4 \pm 0,07$ мм. Измерение амплитуды возмущений по длине дуги и постоянной времени проплавления изделия показали, что время переходного процесса САР длины дуги не должно превышать 0,4 секунды, перерегулирование — 30%.

Глава У содержит результаты проектирования системы автоматического регулирования (САР) длины дуги со спектральным датчиком. При сварке стыковых соединений сильфонных компенсаторов возмущения по внешней составляющей длины дуги на порядок больше возмущений по скрытой составляющей. Из работ А.Э.Гладкова известно, что при сварке тонкостенных изделий ($\delta \leq 1$ мм) на весу гидродинамические возмущения в сварочной ванне имеют малую амплитуду при большой частоте, поэтому пренебрегали ими и составляли структурную схему системы: источник, автомат, дуга, шов (И-А-Д-Ш), аналогичную системе АРЧД. Схема не содержит звеньев с существенной нелинейностью (люфты в цепи "двигатель-горелка" устраняли конструктивными мерами, рабочий режим определялся малыми рассогласованиями). Это позволило линеаризовать все звенья структурной схемы и получить с помощью методов теории автоматического регулирования передаточные функции от возмущения по длине дуги к параметрам шва и к длине дуги.

Структурная схема имеет обратную связь по длине дуги, реализованную через спектральный датчик. Для компенсации

изменения сигнала при колебаниях тока сварки введена обратная связь, позволившая получить относительную инвариантность регулятора к изменению тока сварки; в системе стабилизации длины дуги осуществлено управление по возмущению, следовательно, реализовано комбинированное управление.

Для улучшения динамических свойств регулятора введена гибкая отрицательная обратная связь. Выбор элементов и определение их постоянных для расчета системы выполнены по методикам Л.Е.Алекина.

Анализ САР показал, что система И-А-Д-Ш не обладает требуемыми динамическими свойствами, поэтому проведен синтез корректирующих звеньев. Анализ скорректированной системы показал, что САР длины дуги удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям. Результаты расчета позволили реализовать регулятор длины дуги и провести его испытания.

В главе VI изложены вопросы реализации регулятора длины дуги, его испытаний и применения в промышленности. Регулятор создан с использованием серийно выпускаемых транзисторных усилителей УПДИ-04 и электродвигателей АСМ-50 и РД-09. В датчиках использовали серийно выпускаемые металлодиэлектрические интерференционные фильтры, фотодиоды ФД-24К или фототриоды ФТ-ИК. Для коррекции системы применяли тахогенератор ТГП-3. Система регулирования испытана при ступенчатом возмущении длины дуги и синусоидальным возмущением опорного напряжения. Ступенчатые возмущения задавали перемещением горелки за время не более 5 м сек, синусоидальные — с помощью генератора ГЗ-39. Перемещения горелки, определенные с помощью тензодатчиков, и сигнал спектрального датчика регистрировали осциллографом СИ-18 или самопишущим милливольтметром НЗ27-5.

Ступенчатые возмущения позволили определить реальные характеристики САР длины дуги: точность не ниже 0,05 мм, время переходного процесса не более 0,4 сек, перерегулирование не более 30%. Характеристики реального регулятора согласуются с данными расчета и соответствуют требуемым.

Синусоидальные возмущения позволили построить амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) регулятора и шва. АЧХ показали, что регулятор имеет более высокие динамические характеристики, чем шов стыкового соединения из стали IX18Ni9Ti толщиной 0,35 мм. Следовательно, регулятор обеспечивает получение неизменных ГРШ при реальных возмущениях по амплитуде и при любой частоте возмущения.

Длительные испытания в условиях сварки показали работоспособность регулятора. При непрерывной работе в течение 1 часа точность стабилизации длины дуги была не ниже 0,05 мм, несмотря на существенную эрозию W-электрода.

Испытания показали работоспособность регулятора в широком диапазоне технологических параметров: при импульсной сварке, сварке в гелии и в смеси инертных газов, сварке с присадочной проволокой, сварке сжатой дугой.

Регулятор длины дуги со спектральным датчиком используется с февраля 1976 г. в промышленной установке СА-179 при сварке карт и обечаек сильфонных компенсаторов. Годовой экономический эффект на одну установку — 10000 руб. Промышленностью изготовлены и сданы заказчику 4 установки СА-320 для сварки бортовых и стыковых соединений тонкостенных изделий. В данных установках для стабилизации длины дуги применяется регулятор со спектральным датчиком.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Для обеспечения требуемого качества сварных швов при аргонодуговой сварке изделий толщиной 0,1+0,5 мм, работающих при циклических нагрузках в условиях коррозионных сред, помимо стабилизации тока и скорости сварки необходимо применение дуги длиной не более 0,5 мм, известные способы регулирования длины дуги в этом диапазоне неработоспособны.
2. Анализ излучения различных компонент плазмы сварочной дуги в аргоне показал, что длину дугового промежутка можно регулировать, используя интенсивность спектральных линий азона.
3. Исследованием спектрального излучения сварочной дуги в аргоне установлено:

- а) интенсивность излучения аргона стабильна во времени и зависит от длины дуги и тока сварки;
 - б) интенсивность излучения аргона практически не зависит от материала свариваемого изделия и неизменна при отклонениях скорости сварки, расхода аргона, угла заточки вольфрамового электрода $\pm 20\%$ от номинальных значений;
 - в) в спектре дуги имеются интервалы, уровень излучения металлов в которых (помеха) незначителен по сравнению с излучением аргона (сигнал), для выделения этих спектральных интервалов могут быть использованы узкополосные фильтры;
 - г) в отличие от однокомпонентной плазмы, в плазме аргон-железо зависимость концентрации частиц от температуры немонотонна, что приводит к появлению двух максимумов в зависимости от интенсивности линий атомов металлов от температуры;
 - д) малоамперная дуга в аргоне практически прозрачна, сигнал датчика не зависит от его расположения относительно дуги.
4. На основании исследования излучения дуги разработан новый способ регулирования короткой длины дуги с оптическим датчиком, для реализации которого наиболее целесообразным является использование излучения красных и инфракрасных линий аргона.
 5. Анализ технических средств фильтрации помехи и выделения сигнала показал, что оптимальным типом спектрального датчика для выделения излучения аргона является датчик на основе выпускаемых промышленностью интерференционных светофильтров и полупроводниковых фотоэлементов.
 6. Расчеты и испытания системы автоматического регулирования показали, что регулятор со спектральным датчиком стабилизирует длину дуги $0,2 \pm 0,5$ мм с точностью $0,05$ мм.
 7. Внедрение регулятора на промышленной установке СА-179 при сварке сильфонов из стали типа 18-10 позволило в 3 раза снизить брак и повысить производительность труда на 30%.
 8. Испытания показали, что регулятор может быть использован при сварке других металлов неплавящимся электродом в среде защитных газов в широком диапазоне технологических параметров.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Новокрещенов М.М., Виноградов В.А., Романенков Е.И., Рыбаков В.А., Гума В.В. Влияние азота на свойства сварочной дуги в аргоне. "Сварочное производство", 1974, № 3.

2. Виноградов В.А., Гума В.В., Романенков Е.И., Григорьев А.А. Разработка спектрального датчика для контроля и регулирования параметров сварного шва. В сб. "Сварочное производство", вып.2, М., НИКИИТ, 1975.
3. Романенков Е.И., Виноградов В.А., Гума В.В., Орлова Н.В. Расчет состава двухкомпонентной равновесной плазмы. "Автоматическая сварка", 1975, № 4.
4. Виноградов В.А., Гума В.В., Романенков Е.И. Влияние параметров режима на температуру дуги в аргоне. "Сварочное производство", 1976, № 8.
5. Романенков Е.И., Виноградов В.А., Попенко В.С., Алекин Л.Е. Регулирование длины дуги по ее спектральному излучению. "Сварочное производство", № 9, 1976.
6. Романенков Е.И., Попенко В.С., Алекин Л.Е. Разработка спектрального датчика и САР длины дуги. В сб. "Сварочное производство", вып. № 3, М., НИКИИТ, 1977.
7. Романенков Е.И. Система автоматического регулирования длины дуги со спектральным датчиком. Реферативный журнал ВНИИ "Репорт", 1977, № 9.

По теме диссертации получено авторское свидетельство Романенков Е.И., Виноградов В.А., Попенко В.С., Алекин Л.Е. Способ автоматического регулирования длины дуги. а/с № 561641, кл. 23К, 9/10. Б.И. № 22, 1977.

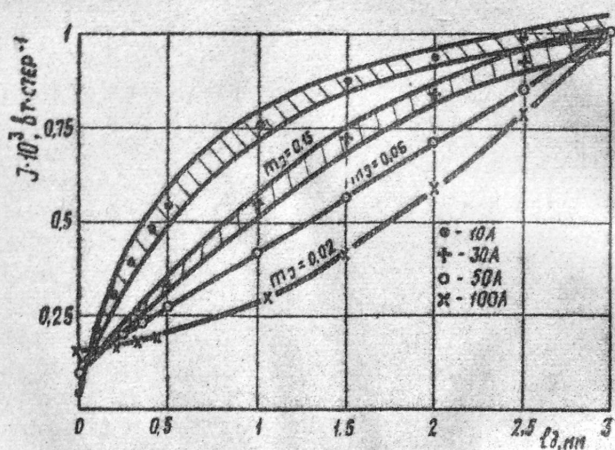


Рис. 1. Зависимость интенсивности атомной линии аргона ArI 6965 Å от длины дуги.

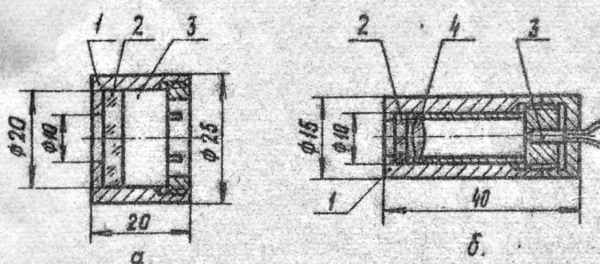


Рис. 2. Спектральные датчики:

1 - корпус; 2 - интерференционный светофильтр;
3 - фотодиод ФД-24К (а) или фототриод
ФТ-1К (б); 4 - фокусирующая линза.