

## Памятка

Уважаемые студенты, вам необходимо прочитать данную лекцию, выполнить все требования письменно в рабочей тетради. Выполненную работу - прислать фото отчет на электронную почту преподавателя, (с 24.01.2023 по 27.01.2023). В дальнейшем по окончанию семестра принести для проверки.

С уважением Андрощук Ольга Владимировна, если какие вопросы по заданию, обращаться по номеру тел. +380721273299 или по электронной почте e-mail: [Olga8122@yandex.ru](mailto:Olga8122@yandex.ru)

## Лекция

### Тема 9. Системы автоматической стабилизации

#### 9.1 САР энергетических параметров дуги при электродуговой сварке

**Цель:** Изучить систему регулирования энергетических параметров дуги при электродуговой сварке

#### План

1. Система АРДС.
2. Системы автоматического регулирования, построенные на базе систем АРДС.

Простейшие системы автоматического регулирования энергетических параметров дуги (тока и напряжения) состоят из механизма подачи электродной проволоки  $MП$ , дуги  $D$  и питающей системы  $MП$ . В этих системах механизм подачи электрода  $MП$  – задающий орган, а постоянная скорость подачи электрода  $V_n$  – задающий параметр.

**Система АРДС** (автоматические регуляторы дуговой сварки) стабилизирует с определенной статической ошибкой сварочный ток при колебании напряжения сети.

В промышленности внедрены АРНД непрерывного и релейного типа. Точность стабилизации напряжения дуги у систем непрерывного типа несколько выше, чем у систем релейного типа; она составляет 0,1 – 0,15 В при напряжении сварочной дуги 8 – 24 В.

Особенностью АРНД релейного типа является реализация выходной части регулятора в виде релейного усилителя, которым управляют исполнительным двигателем постоянного тока. Релейный усилитель часто линеаризуют применением запаздывающей отрицательной обратной связи по напряжению на якоре исполнительного двигателя. Применение обратной связи обуславливает

скользящий режим при обработке рассогласований и, следовательно, линеаризует систему. В ряде случаев для линеаризации характеристик релейного усилителя применяют вибрационную линеаризацию с помощью дополнительного сигнала, подаваемого на вход промежуточного усилителя напряжения.

Релейные АРНД конструктивно проще непрерывных, однако применение в них релейных усилителей усложняет динамический расчет регулятора. Для расчета используют точные и приближенные методы исследования динамических характеристик замкнутых систем регулирования.

Для расчета АРНД в непрерывном режиме с линейным усилителем используют методы линейной теории автоматического регулирования.

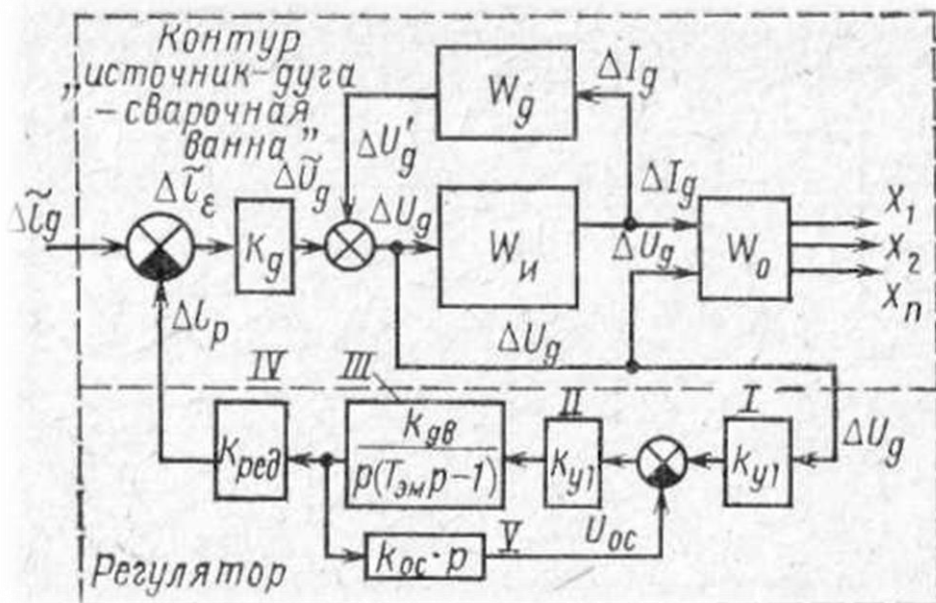


Рисунок 1 – Структурная схема системы АРНД непрерывного типа

Расчетная структурная схема АРНД непрерывного типа приведена на рисунке 1.

Структурная схема системы АРНД представляет собой математическую модель системы, заданную передаточными функциями. Она состоит из математической модели сварочного контура с передаточными функциями дуги  $W_a$ , источника питания  $W_a$  и сварочной ванны  $W_o$ , математической модели регулятора с передаточными функциями усилителей сигнала рассогласования I и II, исполнительного двигателя III, редуктора IV, корректирующей обратной связи V.

В современной практике АРНД непрерывного типа реализуются с использованием усилителей на современных полупроводниковых

элементах: транзисторах, тиристорах, интегральных микросхемах. В схемных решениях закладывается возможность применения АРНД с входным сигналом постоянного и переменного тока, что достигается использованием выпрямительных схем и специальных сумматоров напряжения дуги и напряжения установки.

В некоторых случаях (сварка на малых токах) нарушается линейная зависимость между напряжением дуги и ее длиной. В этих случаях для стабилизации напряжения дуги необходимо использовать автоматические регуляторы длины дуги АРНД. В таких системах необходимо получение с помощью специального датчика сигнала, пропорционального длине дугового промежутка. На практике в качестве датчиков применяют пневматические и фотоэлектрические датчики. В пневматических датчиках (см. рисунок.2) рабочей средой является аргон, используемый в качестве защитного газа при сварке.

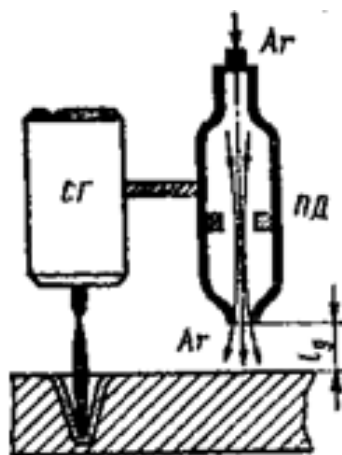


Рисунок2. Пневматический датчик длины дуги:  
СГ – сварочная горелка; ПД – пневматический датчик

В схему системы АРНД (автоматические регуляторы напряжения дуги) в отличие от АРДС дополнительно входит специальное устройство (регулятор), стабилизирующее напряжение дуги путем принудительного изменения скорости подачи электрода  $V_n$ .

В промышленности внедрены АРНД непрерывного и релейного типа.

Сравнительная оценка систем АРДС и АРНД показала, что автоматы на основе системы АРДС значительно проще, дешевле и надежнее, чем и обусловлено их широкое распространение.

**Системы автоматического регулирования, построенные на базе систем АРДС.**

**АРВ** – система автоматического регулирования вылета электрода.

**АРП** – система автоматического регулирования тока и напряжения дуги с воздействием на питающую систему.

Интенсивность излучения сварочной дуги существенно зависит от сварочного тока, поэтому при построении системы автоматического регулирования длины дуги со спектральным датчиком необходимо

предусматривать блок компенсации изменения сигнала на выходе датчика при изменении сварочного тока. Возможная точность стабилизации длины дуги системой автоматического регулирования со спектральным датчиком составляет  $\pm 0,1$  мм.

Регуляторы типа АРП представляют собой замкнутую систему автоматического регулирования энергетических параметров дуги с воздействием на управляемый источник питания нормированием в нем обратных связей по току и напряжению дуги.

Принцип регулирования параметров дуги с помощью систем типа АРП сводится к следующему. Изменения длины дуги вызывают изменения напряжения и эффективной мощности дуги. В этих условиях даже при  $l = \text{const}$  не удастся получить стабильного проплавления металла. Требуется регулирование мощности дуги по закону  $P = f(l_d)$  или для простоты реализации схемы регулятора по закону  $I = f(l_d)$ .

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какое устройство используют для стабилизации тока сварки на заданном уровне?
- 2 Что представляет собой трансформатор тока (ТТ)?
- 3 В чем принципиальное отличие между структурными схемами регуляторов сварочного тока и напряжения на электродах?
- 4 Как определяют температуру расплавленного металла ядра в процессе сварки?
- 5 Почему методы регулирования по температуре нашли ограниченное применение на производстве?

## **9.2 Системы автоматического регулирования проплавления при дуговой сварке**

**Цель:** Научиться управлять системами автоматического регулирования проплавления при дуговой сварке.

### **План**

1. Типовые схемы САР проплавления.
2. САР проплавления с воздействием на питающую систему
3. САР проплавления при ЭЛС с помощью эмиссионного датчика

При наличии информации о качестве проплавления, получаемую с помощью вышерассмотренных способов измерения качества проплавления, для построения САР в каждом конкретном случае необходимо правильно выбрать регулирующее воздействие. Это может быть один параметр: сварочный ток, скорость сварки, амплитуда поперечных колебаний электрода, скорость подачи электродной проволоки. В более сложных случаях требуется комбинированное регулирование: ток – скорость сварки, скорость подачи электрода – длина вылета, ток – амплитуда поперечных колебаний и т.д. При выборе регулирующего воздействия необходимо

всесторонне проанализировать его влияние на качество сварного соединения – форму шва, структуру металла, зону термического влияния.

## 1 Типовые схемы САР проплавления

### • 2САР проплавления с воздействием на питающую систему

В качестве датчиков проплавления в данной схеме (Рисунок.1) используется чувствительный элемент – фотоприемник ФП, в качестве фотоэлемента которого могут быть использованы фотосопротивления, фотодиоды, фототриоды, фотоумножители (это полупроводниковые элементы, функционирование которых зависит от наличия или отсутствия освещенности).

На практике хорошо зарекомендовали себя фотодиоды типа ФД германиевого и кремниевого исполнения. Это связано с их высокой термостабильностью. Температурным влиянием можно пренебречь.

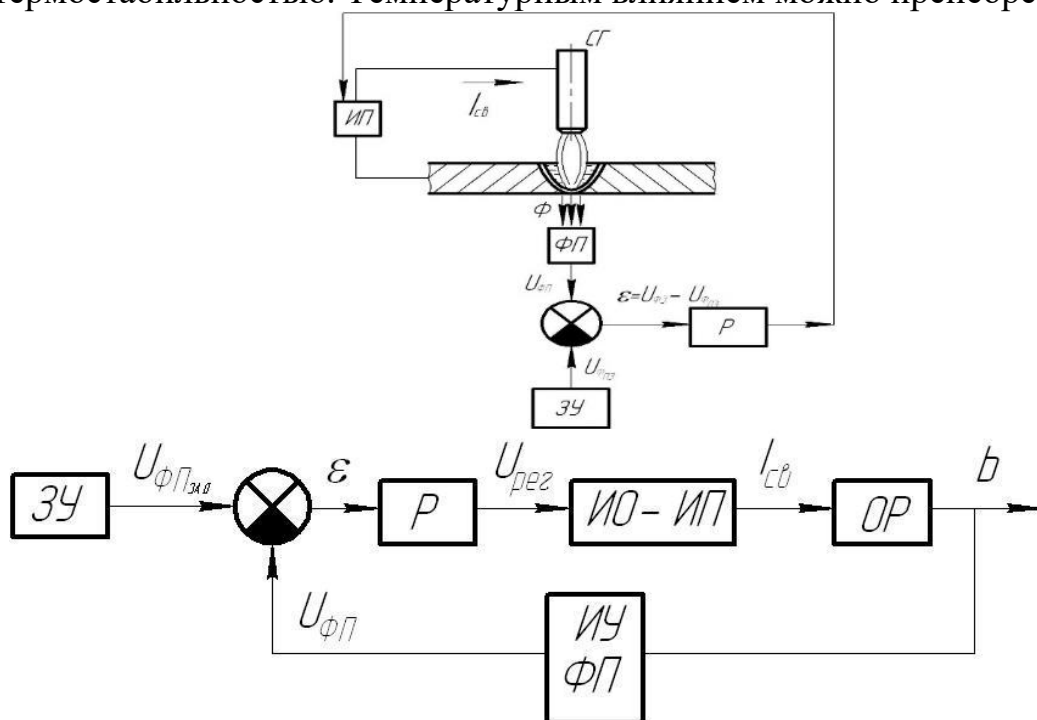


Рисунок.1. Функциональная схема САР проплавления с воздействием на питающую систему

$$U_{\text{фп}} = f(b),$$

$$U_{\text{фп}} = f_1(\Phi),$$

$$U_{\text{фп}} = f_2(b),$$

$$\Phi = f_3(b),$$

$$\varepsilon \rightarrow 0,$$

$\Phi$  – световой поток.

### 3.САР проплавления с воздействием на пространственное положение дуги

САР данного типа используют при сварке  $\text{CO}_2$  поворотных кольцевых труб с V – образной разделкой кромок (Рисунок2)

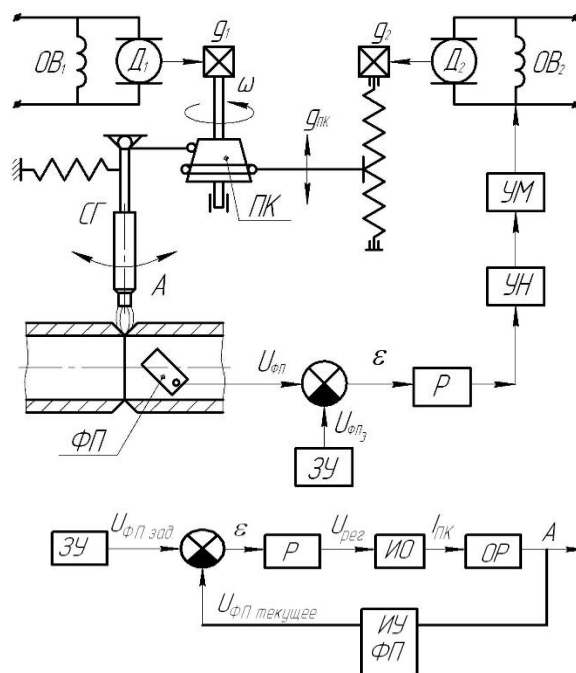


Рисунок2. Функциональная схема САР проплавления с воздействием на пространственное положение дуги

- ЧР – червячный редуктор (переводит вращательные движения в поступательные);
- ПК – профилированный кулачок, вращающийся вокруг своей оси;
- УМ – усилитель мощности;
- УН – усилитель напряжения
- А – амплитуда колебаний
- ИО – привод подачи

Пространственное положение дуги изменяют, вводя поперечные колебания сварочной горелки СТ. Фотоприемник ФП располагают внутри свариваемых труб и ориентируют на формируемый корень шва. При отклонении размера обратного валика от номинального в системе вырабатывается сигнал рассогласования  $\varepsilon = U_{\text{ФПзад}} - U_{\text{ФП}}$ , который после усиления в блоках УН и УМ, фактически образующих регулятор, приводит в движение двигатель ДВ<sub>2</sub>. Последний через редуктор  $g_2$  перемещают в вертикальном направлении профилированным поворотным кулачком ПК и изменяют тем самым амплитуду колебаний А сварочной горелки (СТ) как функцию сигнала рассогласования  $\varepsilon$ . С увеличением проплавления данная САР также увеличивает амплитуду колебаний А, что приводит к рассредоточению теплового потока от дуги на большей площади свариваемых кромок, в результате чего проплавление стыка возвращается к заданному значению. Механические устройства, обеспечивающие колебания сварочной горелки могут быть заменены магнитными.

#### САР проплавления при ЭЛС с помощью эмиссионного датчика

Для регулирования проплавления при ЭЛС применяют замкнутые САР тока пучка на частоте пиков напряжения вторичной эмиссии ( Рисунок3).

Принцип действия системы предусматривает улучшение формирования шва путем исключения взаимодействия электронного луча с парами металла, выделяемыми из сварочной ванны.

Максимум напряжения вторичной эмиссии наблюдается в момент, когда плотность паров металла максимальная и в большей степени оказывается влияние и взаимодействие с электронами пучка на возникновение пор и раковин. В это время электронная пушка ЭП запирается и, таким образом, исключается взаимодействие паров с лучом. После эвакуации паров из зоны сварки напряжение вторичной эмиссии уменьшается до нуля и процесс проплавления повторяется.

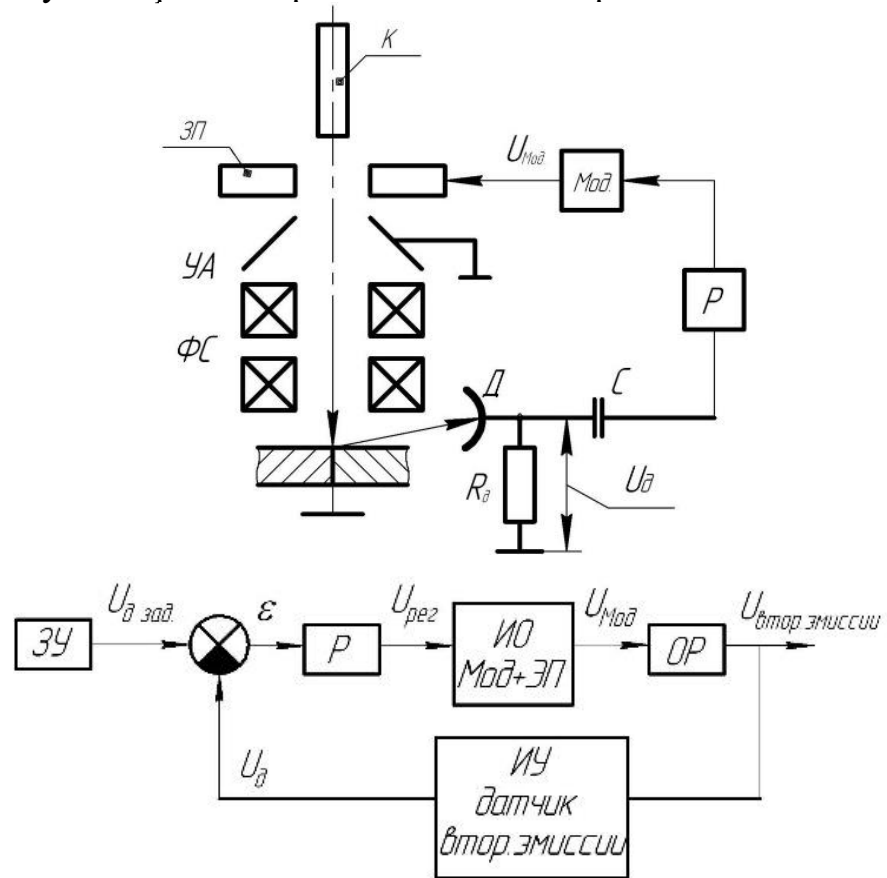


Рисунок 3 – Функциональная схема САР проплавления при ЭЛС с помощью эмиссионного датчика

$U_d \uparrow U_{\text{мод}} \uparrow$  – ЭП запирается;

$U_d \downarrow U_{\text{мод}} \downarrow$  – ЭП открывается;

$U_d \rightarrow \text{max}, U_{\text{мод}} \rightarrow \text{max}$  – ЭП запирается;

$U_d \rightarrow 0, U_{\text{мод}} \rightarrow 0$  – ЭП открывается;

ЗП – запирающие пластины;

УА – ускоряющий анод;

К – катод;

ФС – фокусирующая система;

Д – датчик вторичной эмиссии.

$U_{\text{дз}} = U_{\text{max}}$  – напряжение вторичной эмиссии

С помощью рассмотренной САР ЭЛС осуществляется импульсный режим сварки.

При этом вместо установки регулируемых параметров вручную в соответствии с найденными экспериментальными значениями САР ЭЛС

автоматически настраивается на автоматическую частоту прерывания по частоте пиков  $U_d$ .

При этом улучшаются условия формирования сварного шва.

### **Контрольные вопросы**

4. В чем принципиальное отличие между структурными схемами регуляторов сварочного тока и напряжения на электродах?

5. Какой датчик используется в структурной схеме регулятора перемещения электрода?

6. К чему приводят пульсации сварочного тока при оплавлении?

7. Каким может быть регулирующее воздействие для построения САР в каждом конкретном случае?

8. Что используется в качестве датчиков в САР проплавления с воздействием на питающую систему?

9. САР какого типа используют при сварке  $CO_2$  поворотных кольцевых труб с V – образной разделкой кромок?

10. Какие механические устройства, обеспечивают колебания сварочной горелки?

### **9.3 Системы автоматического регулирования проплавления при плазменной сварке**

**Цель:** научиться управлять системами автоматического регулирования проплавления при плазменной сварке

#### **План**

1. Типовые схемы САР проплавления
2. Система автоматического регулирования проплавления с воздействием на пространственное положение дуги.
3. Управление качеством проплавления стыка при электронно-лучевой сварке с помощью эмиссионного датчика.

#### **1. Типовые схемы САР проплавления**

При наличии информации о качестве проплавления для построения САР необходимо правильно выбрать регулирующее воздействие. Это может быть один параметр: сварочный ток, скорость сварки, амплитуда поперечных колебаний электрода, скорость подачи электродной проволоки. В более сложных случаях требуется комбинированное регулирование: ток – скорость сварки, скорость подачи электрода – длина вылета, ток – амплитуда поперечных колебаний и т.д.

**САР проплавления с воздействием на питающую систему.** В качестве датчиков проплавления в данной схеме используется чувствительный элемент – фотоприемник ФП, в качестве фотоэлемента которого могут быть использованы фотосопротивления, фотодиоды, фототриоды, фотоумножители (полупроводниковые элементы,



функционирование которых зависит от наличия или отсутствия освещенности).

На практике хорошо зарекомендовали себя фотодиоды типа ФД германиевого и кремниевого исполнения.

**САР проплавления с воздействием на пространственное положение дуги.** Используют при сварке поворотных кольцевых труб с V – образной разделкой кромок

Пространственное положение дуги изменяют, вводя поперечные колебания сварочной горелки с помощью фотоприемника

**САР проплавления при ЭЛС с помощью эмиссионного датчика.** Применяют замкнутые САР тока пучка на частоте пиков напряжения вторичной эмиссии.

Принцип действия системы предусматривает улучшение формирования шва путем исключения взаимодействия электронного луча с парами металла, выделяемыми из сварочной ванны. При этом улучшаются условия формирования сварного шва.

При плазменной сварке известен способ регулирования проплавления по контролю с обратной стороны изделия параметров **факела** ионизированных газов (см. рисунок 1). Параметры факела измеряют **либо** с помощью фотоэлемента  $\Phi Э$  (см. рисунок 1,а), **либо** по разности потенциалов **между** свариваемым изделием 1 и искусственно вводимой под деталь контактной подложкой 2 (см. рисунок 1, б).

Экспериментально установлена линейная зависимость между шириной обратного валика и измеряемыми параметрами факела.

При наличии информации о качестве проплавления для построения системы регулирования в каждом конкретном случае необходимо еще правильно выбрать регулирующие воздействия. В простейшем случае это может быть один параметр, например ток (в непрерывном и импульсном режимах), скорость сварки, амплитуда поперечных колебаний электрода, а также параметры магнитной системы при управлении дугой магнитным полем, скорость подачи электродной проволоки и т. д. В более сложных случаях требуется комбинированное управление (ток – скорость сварки, скорость подачи электрода – длина вылета, ток – амплитуда поперечных колебаний и т. д.).

При выборе регулирующего воздействия (воздействий) необходимо всесторонне проанализировать влияние его на качество сварного соединения – форму шва, структуру металла, зону термического влияния и т. д. Иногда для эффективного регулирования требуется не только правильно выбрать регулирующее воздействие и подобрать остальные параметры режима сварки, но и применять дополнительные технологические приемы, расширяющие возможности способа сварки.

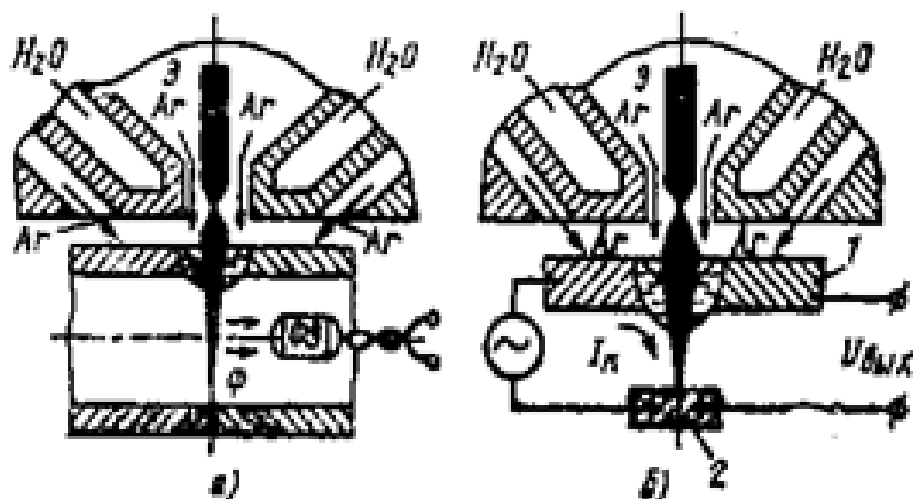


Рисунок 1 – Способы контроля проплавления при плазменно-дуговой сварке

К ним можно отнести повышение пространственной устойчивости дуги (например, наложением на нее коротких по длительности импульсов или магнитного поля), управление кристаллизацией металла шва с помощью электромагнитного перемещения (ЭМП), удержание металла сварочной ванны с помощью магнитного поля, управление пространственным положением дуги относительно линии стыка с помощью механических и электромагнитных устройств.

Особое внимание при создании автоматического оборудования заслуживают способы сварки с периодически изменяющимся током. Основные из этих способов: импульсно – дуговая сварка со свободной и проникающей дугой; импульсно – дуговая сварка плавящимся и неплавящимся электродами; сварка модулированным током.

Рассмотрим некоторые типовые системы автоматического регулирования проплавления, построенные на основе описанных выше решений.

*Системы автоматического регулирования проплавления с воздействием на питающую систему*

Функциональная схема САР представлена на Рисунок.2. В качестве датчика проплавления может быть использован один из рассмотренных выше фотоэлектрических датчиков. Чувствительными элементами в них могут быть фотосопротивления, фотодиоды, фото умножители, фото триоды. На практике хорошо себя зарекомендовали фотодиоды типа ФД германиевого и кремниевого исполнения. Они более температура-стабильны. Для выделения лучистого потока, соответствующего зоне расплавленного металла, в конструкциях датчиков используют узкие диафрагмы и светофильтры.

С фотодатчика ФЭ сигнал  $I_{\Phi}$ , пропорциональный проплавлению, после сравнения с уставкой  $U_3$ , вырабатываемой блоком БУ, усиливается и поступает в блок суммирования БС. В БС суммируются напряжение пилы, вырабатываемое генератором пилы ГП, и усиленное

напряжение  $kU_{BX}$ . Суммарный сигнал поступает на три идентичные схемы управления  $CY_1 - 3$ , на выходах которых формируются импульсы управления тиристорами  $V7 - V12$ .

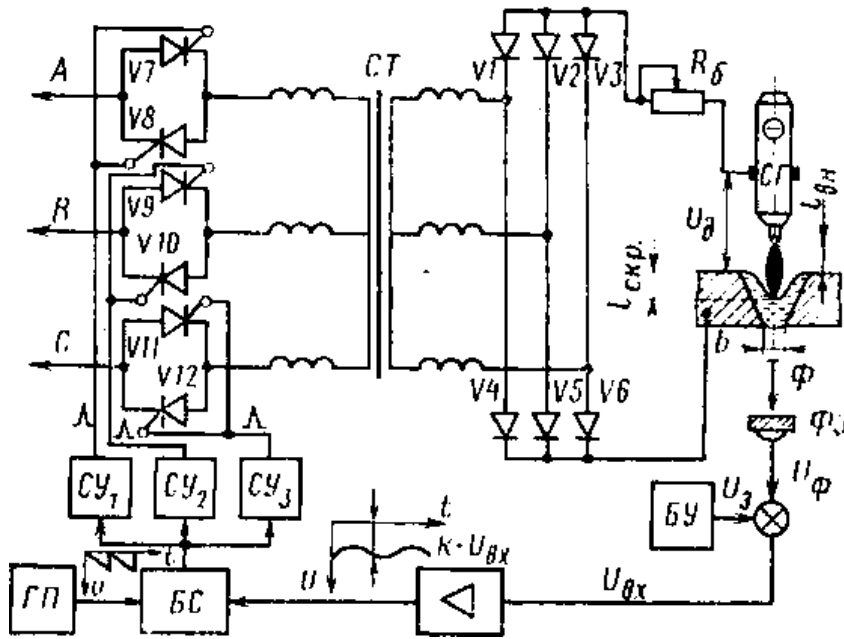


Рисунок 2 – Система автоматического регулирования проплавления стыка с воздействием на питающую систему через тиристорный регулятор

Последние в рассматриваемом варианте схемы включены по высокой стороне сварочного трансформатора  $СТ$ . Временное положение импульсов пропорционально входному напряжению  $U_{BX}$ , т. е. рассогласованию между измеряемым параметром (например, шириной обратного валика  $b$ ) и уставкой по этому параметру.

Получение управляющего воздействия более подробно иллюстрируется временной диаграммой, приведенной на рисунке 3,а. На схеме рассмотрена отработка рассогласования для двух форм ВАХ источника питания – жесткой (см. рисунок 3,б) и штыковой (см. рисунок 3,в) при возмущении по ширине обратного валика  $b$  в случае  $\Delta b > 0$ .

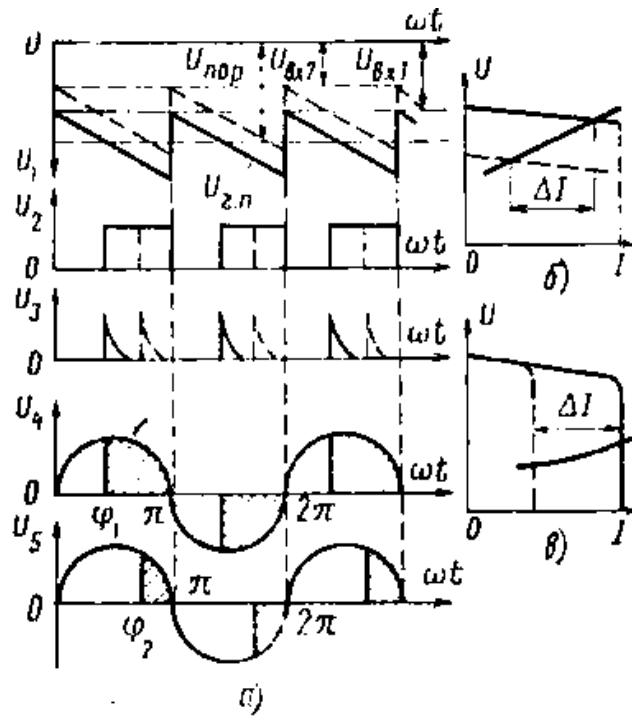


Рисунок 3 – Временная диаграмма формирования сигнала управления в САР проплавания

Напряжение  $U_{вх1} = k(U_{\phi} - U_3)$  соответствует невозмущенному сигналу с фотодатчика. Ему также соответствует оптимальная ширина обратного валика  $b_{опт}$ .

При появлении возмущения по обратному валику ( $\Delta b > 0$ ) сигнал на выходе усилителя изменится до напряжения  $U_{вх2}$ . В блоке БС (см. рисунок 4) он суммируется с напряжением  $U_{2,п}$  генератора пило.

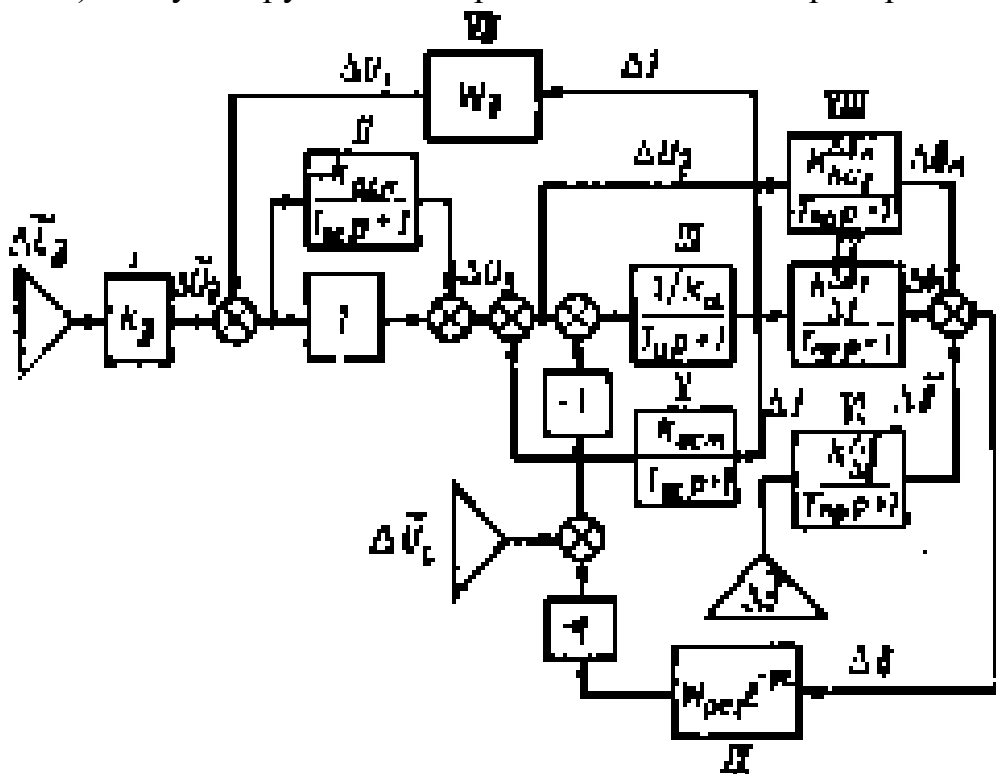


Рисунок 4 – Структурная схема САР проплавления с воздействием на питающую систему

При совпадении уровня суммарного сигнала  $U_{2 \cdot n} + U_{BX}$  с напряжением в схемах управления  $CU_{1-3}$  формируются прямоугольные импульсы  $U_2$ . На управляющие электроды тиристоров  $V7 - V12$  поступают положительные импульсы  $U_3$ , получаемые на выходе  $CU$  путем дифференцирования прямоугольных импульсов  $U_2$ . Открытие тиристоров в момент появления положительных импульсов обеспечивает прохождение через сварочный трансформатор сигналов в виде напряжений  $U_4$  и  $U_3$ .

Статические и динамические характеристики регулятора можно проанализировать, как и выше, с помощью структурной схемы. Особенностью ее в этом случае является необходимость учета в структурной схеме объекта передаточной функции гидродинамического и теплового звена сварочной ванны.

Если зона визирования фотодатчика располагается в хвостовой части сварочной ванны, что нередко делают с целью предотвращения повреждения входного «зрачка» фотодатчика расплавленным металлом при прожогах, то учет гидродинамического звена в структурной схеме объекта необязателен. В структурную схему регулятора при этом вводят звено запаздывания  $\varepsilon^{-pt}$ , которое учитывает запаздывание между управляющим сигналом и управляющим воздействием.

Структурная схема для этого случая с введением в источнике питания отрицательной ОС по току (звено  $V$ ) положительной ОС по напряжению (звено  $II$ ) приведена на рисунке 4. Параметр  $\Delta b$  отражает действие одного из технологических возмущений, например, по толщине свариваемого материала. Он через передаточную функцию (ПФ) звена  $VI$  приводится к возмущению по ширине обратного валика  $\Delta b$ .

ПФ сварочной ванны в схеме задана апериодическими звеньями  $IV$  и  $VIII$ , характеризующими влияние приращений тока  $\Delta I$  и напряжения  $\Delta U_R$  дуги на изменение обратного валика  $b$ . Звено  $IX$  содержит ПФ регулятора с запаздыванием  $\varepsilon^{-pt}$ . Звенья  $VII$  и  $III$  отражают ПФ дуги и источника питания без обратных связей. Коэффициент  $k_d$  в звене  $I$  – коэффициент приведения возмущения по длине дуги  $\Delta l_d$  к возмущению по напряжению дуги  $\Delta U_d$ . Параметр  $AU_G$  – возмущение по напряжению сети.

Аналогичная система регулирования проплавления с воздействием на источник питания (обмотку возбуждения сварочного генератора) реализована и для сварки плавящимся электродом. При разработке этой системы была исследована динамика связи температура – глубина проплавления – сигнал на выходе фотодатчика при сварке с неполным проплавлением. Отмечена необходимость учета для этого случая в ПФ шва, помимо апериодического звена, звена

запаздывания  $e - R\tau$  с постоянной времени  $\tau$ , зависящей от теплофизических констант материала и толщины свариваемой детали. Система выполнена на базе серийного сварочного аппарата АДС – 1000 – 2. Проплавление шва при сварке кольцевых поворотных стыков контролируется фотоэлектрическим датчиком. Неизменность зоны визирования на пятне проплавления поддерживает дополнительная синхронно – следящая система, привод которой размещен на телескопической штанге, вводимой внутрь свариваемой обечайки.

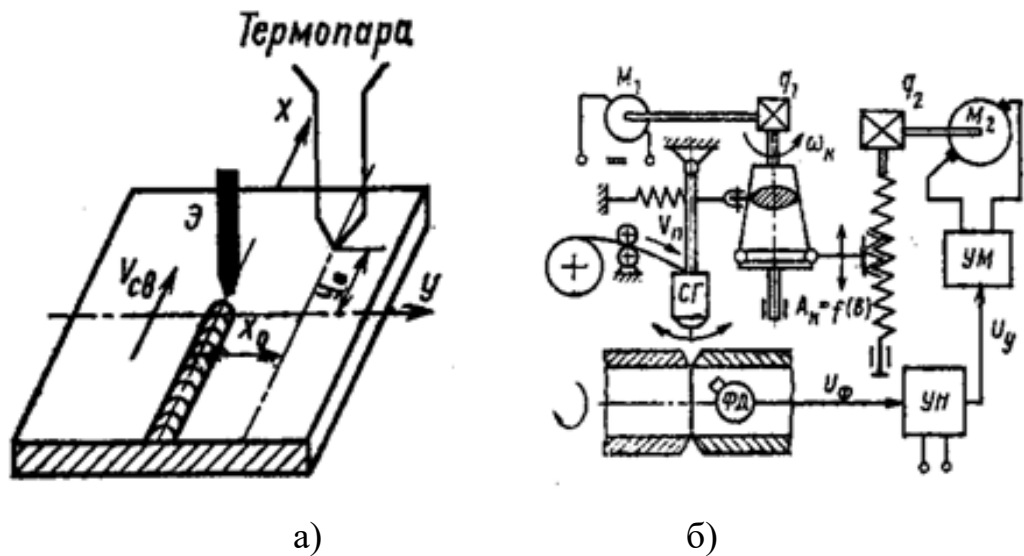


Рисунок 5 – а) Измерение температуры около шовной зоны с помощью хромель – копелевой термопары б) Функциональная схема регулятора проплавления с воздействием на пространственное положение дуги

Систему регулирования проплавления с использованием в качестве датчика температуры в около шовной зоне подвижной хромелькопелевой термопары испытывали на алюминиевых сплавах и коррозионностойких сталях. Схема расположения датчика показана на рисунке 5. Координаты  $x$  и  $y$  расположения термопары выбирают из условия максимальной корреляции между измеряемой температурой в каждый текущий момент и параметрами шва. Структура системы регулирования может быть аналогичной структуре выше рассмотренных систем. Преимуществом использования термопары является незначительное влияние излучения дуги, простота компоновки и конструкции узлов датчика. Недостаток – значительная инерционность самого датчика и запаздывание на  $1 - 3с$  в передаче информации между сварочной ванной и датчиком. Если термопару формирует свариваемый металл и вспомогательный стержень (контактный шуп), то материал последнего необходимо подбирать индивидуально для каждой марки стали основного металла. Необходимо отметить также малую долговечность таких датчиков из-за скользящего контакта.

## **2. Система автоматического регулирования проплавления с воздействием на пространственное положение дуги.**

САР используют при сварке в  $CO_2$  поворотных кольцевых стыков труб с V – образной разделкой кромок. Пространственное положение дуги изменяют, вводя поперечные колебания электрода. Функциональная схема системы приведена на Рисунок.13.6. Датчик системы – фотодиод  $\Phi Д$  располагают внутри свариваемых труб и визируют на формируемый корень шва. На выходе датчика формируется сигнал, пропорциональный размерам обратного валика. При отклонении размеров валика от номинального в системе вырабатывается сигнал рассогласования  $U_v = k (U^{\wedge} - U_a)$ , который после усиления в блоках УН и УМ приводит в движение двигатель  $M2$ . Последний через редуктор  $\zeta_2$  перемещает в вертикальном направлении профилированный кулачок и изменяет амплитуду колебаний сварочной горелки  $СГ$  как функцию сигнала рассогласования. С увеличением проплавления амплитуда колебаний также увеличивается, тепловой поток от дуги рассредоточивается по большей площади, проплавление стыка возвращается к заданному. В некоторых случаях механические устройства для колебания электрода могут быть заменены магнитными. Наложение знакопеременного магнитного поля вдоль оси шва вызывает поперечные колебания дуги. Изменяя параметры магнитного поля (напряженность), можно изменить амплитуду поперечных колебаний дуги,

## **3. Управление качеством проплавления стыка при электронно-лучевой сварке с помощью эмиссионного датчика.**

Для регулирования проплавления при электронно-лучевой сварке применяют замкнутые системы регулирования тока луча по частоте пиков напряжения вторичной эмиссии. Функциональная схема установки приведена на рисунке 6. Входным сигналом на регулятор является напряжение  $U_n$ , снимаемое с нагрузки  $R_d$  в цепи датчика  $Д$  вторичной эмиссии. После усиления это напряжение через устройство связи  $УС$  поступает на модулятор  $Мод$  и воздействует на управляющий электрод  $УЭ$  сварочной пушки. Автоколебательный характер механизма проплавления, вызванный характером процесса взаимодействия электронного луча с парами металла, успешно можно контролировать по напряжению  $U_R$ .

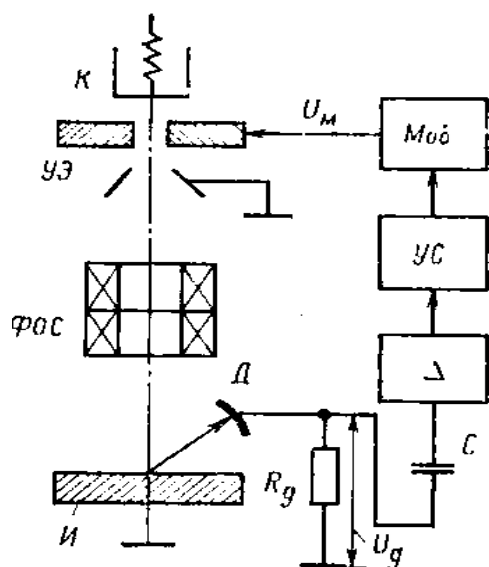


Рисунок 6 – Схема регулирования тока луча по частоте пиков напряжения датчика вторичной эмиссии: *И* – свариваемое изделие; *К* – катод электронной пушки; *ФЭС* – фокусирующая система электронной пушки

Принцип действия системы предусматривает улучшение формирования шва путем исключения взаимодействия луча с парами металла, выделяемыми из сварочной ванны. Известно, что максимум напряжения  $U_n$  наблюдается в момент, когда плотность паров максимальная и в наибольшей степени оказывается влияние их взаимодействия с электронами пучка на возникновение пор и раковин. В это время напряжением на выходе модулятора  $U_M$  пушка запирается, и, таким образом, исключается взаимодействие паров с лучом.

После эвакуации газов из канала  $U_n \rightarrow 0$ , и процесс проплавления повторяется. Другими словами, осуществляется импульсный режим сварки, но вместо установки параметров режима вручную в соответствии с экспериментальным их подбором система автоматически настраивается на необходимую частоту прерывания электронного луча по частоте пиков  $U_n$ . При этом улучшаются условия формирования шва. Применение рассмотренной системы управления способствует улучшению качества сварных швов. Она автоматически настраивается на требуемый режим импульсной сварки, поскольку временные параметры режима определяются частотой пиков напряжения  $U_n$ , косвенно характеризующего механизм проплавления.

### Контрольные вопросы

1. Какое устройство используют для стабилизации тока сварки?
2. В чем принципиальное отличие между структурными схемами регуляторов сварочного тока и напряжения на электродах?
3. Каким может быть регулирующее воздействие для построения САУ в каждом конкретном случае?



4. Что используется в качестве датчиков в САР проплавления с воздействием на питающую систему?
5. Какой режим сварки осуществляется с помощью САР ЭЛС?

#### **9.4 Системы автоматического регулирования проплавления при ЭЛС**

**Цель:** Научится автоматически регулировать проплавление при ЭЛС

##### **План**

1. Типовые системы автоматического регулирования проплавления
2. Типовые схемы САР проплавления
3. САР проплавления с воздействием на пространственное положение дуги
4. САР проплавления при ЭЛС с помощью эмиссионного датчика

#### **1. Типовые системы автоматического регулирования проплавления**

*Системы автоматического регулирования проплавления с воздействием на питающую систему* в качестве датчика проплавления может быть использован фотоэлектрический датчик. Чувствительными элементами в них могут быть фотосопротивления, фотодиоды, фото-умножители, фото-триоды.

*Система автоматического регулирования проплавления с воздействием на пространственное положение дуги.* САР используют при сварке в  $CO_2$  поворотных кольцевых стыков труб с V – образной разделкой кромок. Пространственное положение дуги изменяют, вводя поперечные колебания электрода.

*Управление качеством проплавления стыка при электроннолучевой сварке с помощью эмиссионного датчика.* Применяют замкнутые системы регулирования тока луча по частоте пиков напряжения вторичной эмиссии.

При наличии информации о качестве проплавления, получаемую с помощью вышерассмотренных способов измерения качества проплавления, для построения САР в каждом конкретном случае необходимо правильно выбрать регулирующее воздействие. Это может быть один параметр: сварочный ток, скорость сварки, амплитуда поперечных колебаний электрода, скорость подачи электродной проволоки. В более сложных случаях требуется комбинированное регулирование: ток – скорость сварки, скорость подачи электрода – длина вылета, ток – амплитуда поперечных колебаний и т.д. При выборе регулирующего воздействия необходимо всесторонне проанализировать его влияние на качество сварного соединения – форму шва, структуру металла, зону термического влияния.

#### **2. Типовые схемы САР проплавления, САР проплавления с воздействием на питающую систему**

В качестве датчиков проплавления в данной схеме (см. рисунок.1) используется чувствительный элемент – фотоприемник ФП, в качестве фотоэлемента которого могут быть использованы фотосопротивления, фотодиоды, фототриоды, фотоумножители (это полупроводниковые элементы, функционирование которых зависит от наличия или отсутствия освещенности).

На практике хорошо зарекомендовали себя фотодиоды типа ФД германиевого и кремниевого исполнения. Это связано с их высокой термостабильностью. Температурным влиянием можно пренебречь.

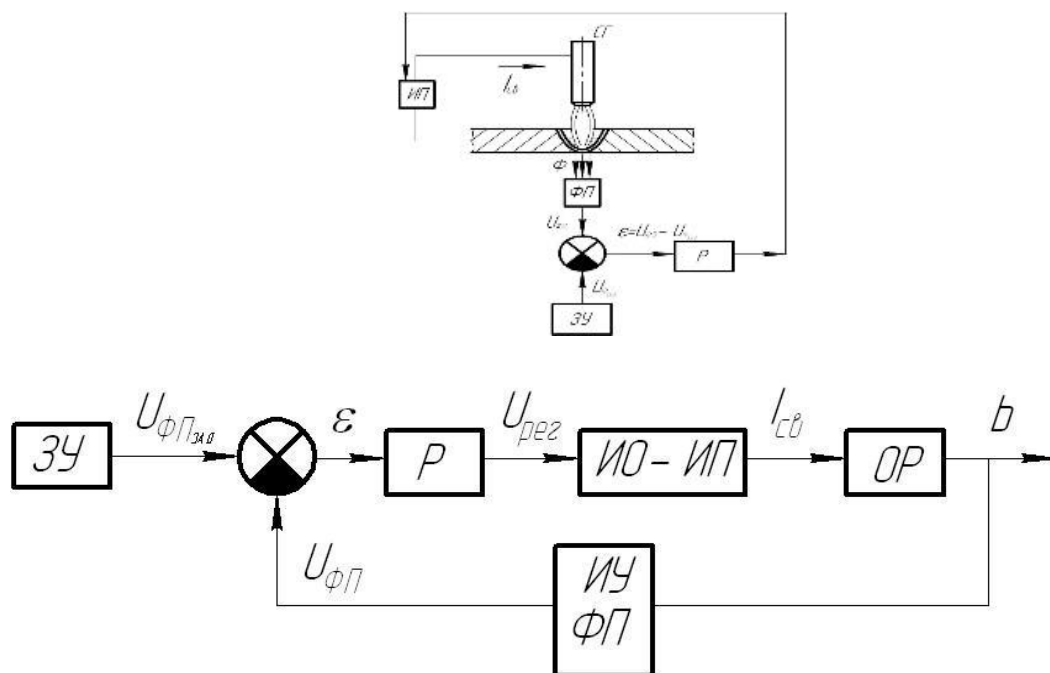


Рисунок 1 – Функциональная схема САР проплавления с воздействием на питающую систему

$$U_{\text{фп}} = f(b),$$

$$U_{\text{фп}} = f_1(\Phi),$$

$$U_{\text{фп}} = f_2(b),$$

$$\Phi = f_3(b),$$

$$E \rightarrow 0,$$

$\Phi$  – световой поток.

### 3. САР проплавления с воздействием на пространственное положение дуги

САР используют при сварке в  $\text{CO}_2$  поворотных кольцевых стыков труб с V – образной разделкой кромок. Пространственное положение дуги изменяют, вводя поперечные колебания электрода. Функциональная схема системы приведена на рисунке 2. Датчик системы – фотодиод ФД располагают внутри свариваемых труб и визируют на формируемый корень шва. На выходе датчика формируется сигнал, пропорциональный размерам обратного валика.

При отклонении размеров валика от номинального в системе вырабатывается сигнал рассогласования  $U_v = k(U^{\wedge} - U_a)$ , который после усиления в блоках УН и УМ приводит в движение двигатель М2. Последний через редуктор  $\mu_2$  перемещает в вертикальном направлении профилированный кулачок и изменяет амплитуду колебаний сварочной горелки СГ как функцию сигнала рассогласования. С увеличением проплавления амплитуда колебаний также увеличивается, тепловой поток от дуги рассредоточивается по большей площади, проплавление стыка возвращается к заданному. В некоторых случаях механические устройства для колебания электрода могут быть заменены магнитными. Наложение знакопеременного магнитного поля вдоль оси шва вызывает поперечные колебания дуги. Изменяя параметры магнитного поля (напряженность), можно изменить амплитуду поперечных колебаний дуги

САР данного типа используют при сварке  $CO_2$  поворотных кольцевых труб с V – образной разделкой кромок (см. рисунок 2)

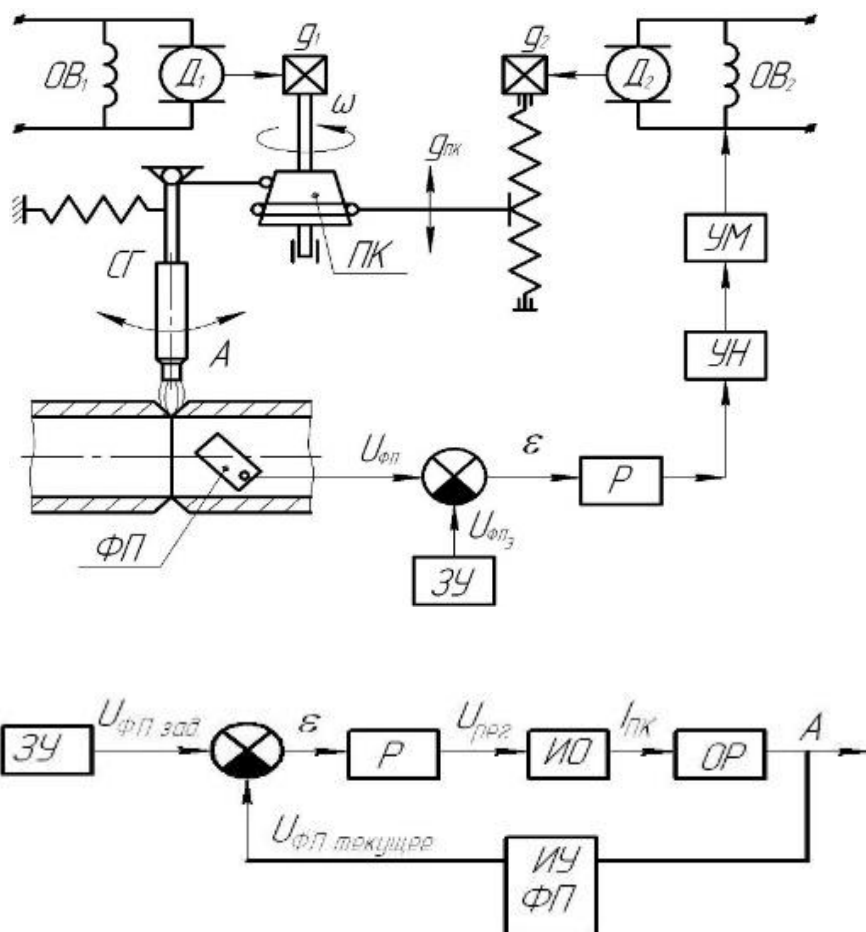


Рисунок 2 – Функциональная схема САР проплавления с воздействием на пространственное положение дуги

ЧР – червячный редуктор (переводит вращательные движения в поступательные);

ПК – профилированный кулачок, вращающийся вокруг своей оси;

УМ – усилитель мощности;  
УН – усилитель напряжения  
А – амплитуда колебаний  
ИО – привод подачи

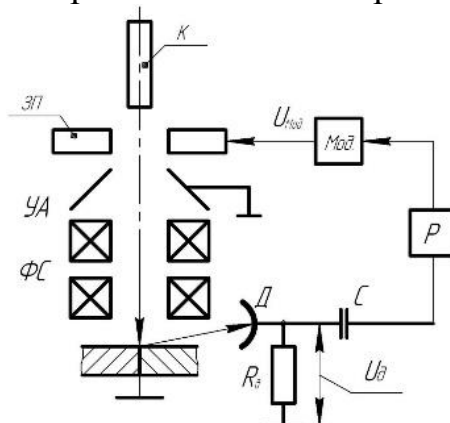
Пространственное положение дуги изменяют, вводя поперечные колебания сварочной горелки СГ. Фотоприемник ФП располагают внутри свариваемых труб и ориентируют на формируемый корень шва. При отклонении размера обратного валика от номинального в системе вырабатывается сигнал рассогласования  $\varepsilon = U_{\text{ФПзад.}} - U_{\text{ФП}}$ , который после усиления в блоках УН и УМ, фактически образующих регулятор, приводит в движение двигатель ДВ<sub>2</sub>. Последний через редуктор  $g_2$  перемещают в вертикальном направлении профилированным поворотным кулачком ПК и изменяют тем самым амплитуду колебаний А сварочной горелки (СГ) как функцию сигнала рассогласования  $\varepsilon$ . С увеличением проплавления данная САР также увеличивает амплитуду колебаний А, что приводит к рассредоточению теплового потока от дуги на большей площади свариваемых кромок, в результате чего проплавление стыка возвращается к заданному значению. Механические устройства, обеспечивающие колебания сварочной горелки могут быть заменены магнитными.

#### 4. САР проплавления при ЭЛС с помощью эмиссионного датчика

Для регулирования проплавления при ЭЛС применяют замкнутые САР тока пучка на частоте пиков напряжения вторичной эмиссии (см. рисунок 3).

Принцип действия системы предусматривает улучшение формирования шва путем исключения взаимодействия электронного луча с парами металла, выделяемыми из сварочной ванны.

Максимум напряжения вторичной эмиссии наблюдается в момент, когда плотность паров металла максимальная и в большей степени оказывается влияние и взаимодействие с электронами пучка на возникновение пор и раковин. В это время электронная пушка ЭП запирается и, таким образом, исключается взаимодействие паров с лучом. После эвакуации паров из зоны сварки напряжение вторичной эмиссии уменьшается до нуля и процесс проплавления повторяется.



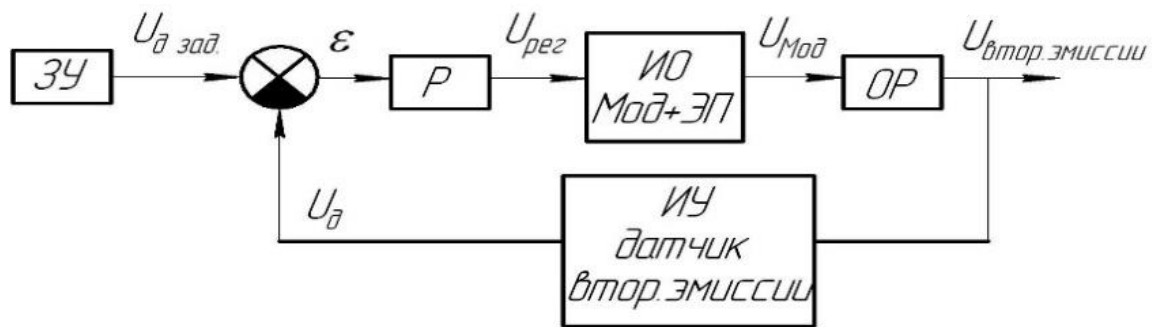


Рисунок 3 – Функциональная схема САР проплавления при ЭЛС с помощью эмиссионного датчика

- $U_d \uparrow U_{\text{мод}} \uparrow$  – ЭП запирается;
- $U_d \downarrow U_{\text{мод}} \downarrow$  – ЭП открывается;
- $U_d \rightarrow \text{max}, U_{\text{мод}} \rightarrow \text{max}$  – ЭП запирается;
- $U_d \rightarrow 0, U_{\text{мод}} \rightarrow 0$  – ЭП открывается;
- ЗП – запирающие пластины;
- УА – ускоряющий анод;
- К – катод;
- ФС – фокусирующая система;
- Д – датчик вторичной эмиссии.
- $U_{\text{дз}} = U_{\text{max}}$  – напряжение вторичной эмиссии

С помощью рассмотренной САР ЭЛС осуществляется импульсный режим сварки.

При этом вместо установки регулируемых параметров вручную в соответствии с найденными экспериментальными значениями САР ЭЛС автоматически настраивается на автоматическую частоту прерывания по частоте пиков  $U_d$ . При этом улучшаются условия формирования сварного шва.

Для регулирования проплавления при электронно-лучевой сварке применяют замкнутые системы регулирования тока луча по частоте пиков напряжения вторичной эмиссии. Функциональная схема установки приведена на рисунке 4. Входным сигналом на регулятор является напряжение  $U_n$ , снимаемое с нагрузки  $R_d$  в цепи датчика Д вторичной эмиссии. После усиления это напряжение через устройство связи УС поступает на модулятор Мод и воздействует на управляющий электрод УЭ сварочной пушки. Автоколебательный характер механизма проплавления, вызванный характером процесса взаимодействия электронного луча с парами металла, успешно можно контролировать по напряжению  $U_R$ .

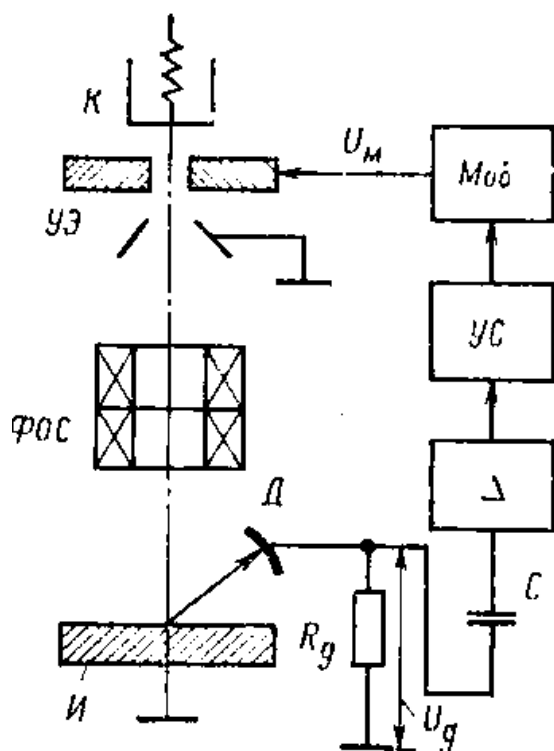


Рисунок 4 – Схема регулирования тока луча по частоте пиков напряжения датчика вторичной эмиссии: *И* – свариваемое изделие; *К* – катод электронной пушки; *ФОС* – фокусирующая система электронной пушки

Принцип действия системы предусматривает улучшение формирования шва путем исключения взаимодействия луча с парами металла, выделяемыми из сварочной ванны. Известно, что максимум напряжения  $U_n$  наблюдается в момент, когда плотность паров максимальная и в наибольшей степени оказывается влияние их взаимодействия с электронами пучка на возникновение пор и раковин. В это время напряжением на выходе модулятора  $U_M$  пушка запирается, и, таким образом, исключается взаимодействие паров с лучом.

После эвакуации газов из канала  $U_n \rightarrow 0$ , и процесс проплавления повторяется. Другими словами, осуществляется импульсный режим сварки, но вместо установки параметров режима вручную в соответствии с экспериментальным их подбором система автоматически настраивается на необходимую частоту прерывания электронного луча по частоте пиков  $U_n$ . При этом улучшаются условия формирования шва. Применение рассмотренной системы управления способствует улучшению качества сварных швов. Она автоматически настраивается на требуемый режим импульсной сварки, поскольку временные параметры режима определяются частотой пиков напряжения  $U_n$ , косвенно характеризующего механизм проплавления.

### Контрольные вопросы

1. Какое устройство используют для стабилизации тока сварки на заданном уровне?
2. В чем принципиальное отличие между структурными схемами регуляторов сварочного тока и напряжения на электродах?
3. Какой датчик используется в структурной схеме регулятора перемещения электрода?
4. К чему приводят пульсации сварочного тока при оплавлении?
5. Что представляет собой трансформатор тока (ТТ)?
6. К чему приводят пульсации сварочного тока при оплавлении?
7. Каким может быть регулирующее воздействие для построения САР в каждом конкретном случае?
8. Что используется в качестве датчиков в САР проплавления с воздействием на питающую систему?
9. САР какого типа используют при сварке  $\text{CO}_2$  поворотных кольцевых труб с V – образной разделкой кромок?
10. Какие механические устройства, обеспечивают колебания сварочной горелки?

## 9.5 Системы автоматического регулирования контактной сварки

**Цель:** Изучить системы автоматического регулирования контактной сварки

### План

1. САР контактной сварки
2. САР физических параметров контактной сварки
3. Адаптивные системы автоматического управления

#### 1. САР контактной сварки

*Две группы САР контактной сварки в зависимости от регулируемых величин:*

САР с электрическими параметрами режима сварки (ток сварки, мощность сварки, напряжение на электродах).

САР физическими параметрами режима сварки (сопротивление детали  $R_{\text{дет}}$ , перемещение  $\Delta$ ,  $t_{\text{ошз}}$  ( $t_{\text{эл}}$ )).

#### **САР с электрическими параметрами режима сварки**

САР сварочного тока

САР напряжения на электродах

#### 2. САР физических параметров контактной сварки

1 САР температуры ОШЗ  $t_{\text{ошз}}$  ( $t_{\text{эл}}$ )

2 САР перемещения электродов под действием теплового расширения металла  $\Delta_{\text{эл}}$ .

3 САР частоты пульсации (разрыва жидких перемычек)

Разрывы перемычек жидкого металла при оплавлении вызывают пульсации

САР частоты пульсации (разрыва жидких перемычек)

### 3. Адаптивные системы автоматического управления.

*Основные разновидности адаптивных САУ (см. рисунок 1)*



Рисунок 1 – системы автоматического управления



**1. Адаптивные неоптимальные системы АСНИ** – системы, в которых идентификатор соединяется с системами автоматического управления (САУ) обычных (ранее рассмотренных) типов.

**2. Системы, оптимальные в отношении частного критерия**

Обеспечивают требуемое качество управления при изменении характеристик объекта управления. Они автоматически изменяют в процессе своей работы статические и динамические свойства, с инженерной точки зрения приближая их к оптимальным.

Разработано два вида данных систем:

1 Бес поисковые адаптивные системы (БАС) – системы с моделью – эталоном объекта

2 Поисковые адаптивные системы (ПАС)

Системы основаны на использовании обнаружения отклонений параметров от их оптимальных значений автоматических пробных решений системы с последующим анализом исходной и текущей информации.

**3. Системы, оптимальные в отношении достижения конечной цели.** Обеспечивают достижение экстремума (оптимума) главных технологических показателей качества сварки в условиях неполной информации о характеристиках объекта:

3.1 Системы экстремального регулирования (СЭР)

Предназначены для поддержания на экстремальном уровне главного показателя качества сварки реального объекта;

3.2 Адаптивные системы оптимального управления с идентификатором (АСИ)

**Контрольные вопросы**

1. На какие группы можно разделить САУ контактной сварки в зависимости от регулируемых величин ?

2. Какое устройство используют для стабилизации тока сварки на заданном уровне?

3. К чему приводят пульсации сварочного тока при оплавлении?

4. Основное требование к системам автоматического регулирования контактной сварки

5. На какие группы можно разделить САУ контактной сварки в зависимости от регулируемых величин?

6. Какое устройство используют для стабилизации тока сварки на заданном уровне?

7. Какие механические устройства, обеспечивают колебания сварочной горелки?