

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

Абралов М.М., Дуняшин Н.С.

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по дисциплине «Автоматизация сварочных процессов»
для подготовки магистров по специальности
5A522702 - «Технология и оборудование сварочного
производства»**

ТАШКЕНТ - 2006

УДК 621.791.1

Конспект лекций по дисциплине «Автоматизация сварочных процессов» для подготовки магистров по специальности 5А522702 «Технология и оборудование сварочного производства»/ ТашГТУ; Абралов М.М., Дуняшин Н.С. Ташкент, 2006. 69 с.

Курс «Автоматизация сварочных процессов» по учебному плану читается во 2 семестре. В этом конспекте изложены основные вопросы теории автоматики, технические средства автоматизации сварочных процессов в объеме, необходимом для изучения студентами высшего учебного заведения по специальности магистратуры 5А522702 «Технология и оборудование сварочного производства»

Кафедра «Машины и технология сварочного производства»

Печатается по решению научно-методического совета Ташкентского государственного технического университета

Рецензенты: ст. преп. Абдуллаев М.А. (ТашГТУ)
к.т.н. Лихачев Р.Б. (ГАО ТАПОиЧ)

© Ташкентский государственный технический университет,
2006

Введение

Сварку используют в различных отраслях машиностроения, в строительстве, на транспорте, в энергетике, разрабатываются новые и совершенствуются старые методы сварки. В условиях производства без широкого применения автоматизации, теории и техники автоматического регулирования невозможно получение сварных соединений высокого качества. Особое значение автоматизация имеет в атомной, авиаракетной, энергетической, судостроительной промышленности, в производстве химической аппаратуры, где необходимо получать сварные соединения высокого качества.

Сварка — прогрессивный метод создания неразъемных соединений металлов, сплавов и различных материалов. Современное сварочное оборудование имеет высокую производительность. Уровень механизации сварочных работ оценивают при наличии экономии затрат труда во время изготовления сварных конструкций.

Большие перспективы в развитии сварочного производства открывает автоматизация процесса сварки. В решении задачи автоматизации необходим комплексный подход к проблеме. Это означает, что подлинный прогресс сварочного производства возможен только в том случае, если при использовании автоматизации будет решен весь комплекс задач по автоматизации основных, заготовительных, транспортных, сварочных и отделочных операций.

Автоматизация увеличивает производительность труда, повышает эффективность технологических процессов, улучшает качество продукции, повышает точность, сокращает численность обслуживающего персонала. Труд рабочего в условиях механизированного и автоматизированного производства более содержательный и творческий.

Автоматизация процесса сварки означает полный перевод сварочного оборудования на автоматический режим работы,

внедрение в производство устройств, действующих частично или полностью без участия человека.

При механизированном процессе независимо от степени его механизации рабочий частично или полностью освобождается лишь от выполнения мускульных усилий, но полностью остается его участие в процессе из-за сохранения за ним функций контроля и управления.

Автоматизация — высшая форма механизации. Она характеризуется освобождением человека частично или полностью также и от оперативного управления механизмами, от постоянного его участия в процессе.

В Узбекистане автоматизация сварочных процессов широко применяется на Ташкентском авиационном производственном объединении им. В.П. Чкалова и автомобилестроительном заводе «УзДэуавто».

Лекция №1. Основы теории автоматического регулирования и управления сварочными процессами.

1.1. Общая характеристика объекта регулирования и управления.

Объект управления или регулирования – это устройство, требуемый режим работы которого должен поддерживаться извне специально организованными управляющими или регулирующими воздействиями, которые формируются управляющим устройством или регулятором.

Режим работы, состояние объекта характеризуются совокупностью физических показателей (параметров) и определяются текущими внутренними процессами, на характер которых влияют внешние и внутренние воздействия.

В автоматической системе часть входных воздействий, предоставляющих ей информацию о задачах управления, называются управляющими воздействиями $g_i(t)$. Они либо

задаются человеком, либо вырабатываются управляющим устройством.

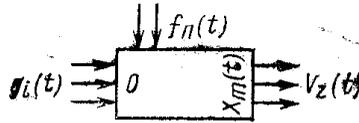


Рис. 1.1. Объект управления

Другие воздействия на объект, не связанные с задачами и результатами управления, называются возмущениями $f_n(t)$. Из-за существования возмущений возникает необходимость регулирования.

К возмущениям можно отнести и помехи — ненужные, вредные составляющие информации, содержащиеся в задающем воздействии и возникающие вследствие субъективных ошибок человека при управлении объектом, либо из-за погрешностей задающего устройства.

Входное (управляющее) воздействие или любые возмущения вызывают изменение всех или части выходных или регулируемых величин $V_z(t)$.

Если объект имеет всего одну управляющую и одну управляемую величину, то его относят к простым или одномерным (односвязным). При наличии нескольких выходных координат объект называют многомерным.

Описать свойства объекта можно различными способами: схемами (функционирования, принципиальной, блок-схемой) с пояснительными текстами, графическими зависимостями и параметрами, логическими зависимостями, экспериментальными характеристиками и математическими уравнениями (дифференциальными или разностными).

В зависимости от вида системы дифференциальных уравнений объекта его называют линейным (если система представлена линейными дифференциальными уравнениями или может быть сведена к ним) или нелинейным.

Существуют два состояния объекта — статическое и динамическое. Статическое характеризуется независимостью управляемых величин от внешних воздействий по времени:

$$x = F_1(g_i, f_n)$$

В динамическом состоянии соответствующие характеристики объекта рассматривают во времени, при изменениях внешних воздействий

$$x(t) = F_1(g_i(t), f_n(t))$$

1.2. Системы автоматки

Системы автоматической блокировки имеют два назначения: защита оборудования от неправильных действий обслуживающего персонала и обеспечение заданной последовательности действия оборудования или включение резервного оборудования при выходе из строя основного. Примером соответственно может служить система обеспечения строгой очередности зажигания игнитронов с помощью схемы управления в источниках сварочного тока машин контактной сварки.

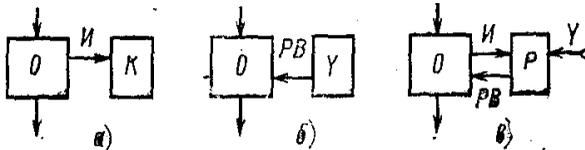


Рис. 1.2. Системы автоматического контроля (а), управления (б) и регулирования (в)

Системы автоматического контроля делят на три группы: измерения, сигнализации и регистрации.

1) Системы автоматического измерения контролируют параметры объекта, процесса и выдают результаты в абсолютных значениях во всем диапазоне изменения. Например, при дуговой сварке контролируют ток и напряжение дуги, скорость сварки.

2) Системы автоматической сигнализации применяют в тех случаях, когда требуется определять не конкретный параметр

процесса, а лишь получать информацию о том, изменяется ли он в допустимых пределах. О достижении граничного значения такая система оповещает световым или звуковым сигналом.

3) Системы автоматической регистрации контролируемых параметров состоят из соответствующих датчиков и самопишущих приборов или осциллографов, записывающих изменения параметров объекта на каком-либо носителе.

Системы автоматического управления предназначены для автоматического пуска, торможения и реверсирования электродвигателей, для управления приводами и сварочным оборудованием с помощью какого-либо управляющего устройства.

Системы автоматического регулирования – системы, в которых объект регулирования и регулятор связаны замкнутым контуром. По одной из связей контура к регулятору поступает информация о состоянии объекта, о ходе происходящего в нем процесса. Регулятор на основании полученной информации и заданного закона регулирования анализирует состояние объекта и формирует соответствующее регулирующее воздействие РВ, которое посылает по второй линии связи на объект. Так продолжается до тех пор, пока объект не достигнет заданного состояния. Примером может служить система автоматического регулирования напряжения на дуге в сварочном аппарате АДС-1000.

1.3. Автоматическое регулирование

Автоматическое регулирование — это автоматическое поддержание заданной регулируемой величины (переменной состояния) объекта путем постоянного контроля его состояния и действующих на него возмущений, а также регулирующего воздействия (при необходимости) на его регулирующий орган.

Система автоматического регулирования — замкнутая автоматическая система, основанная на принципе обратной связи —управлении объектом с использованием информации о результатах управления. Обратная связь должна быть

отрицательной, т.к. в этом случае происходят измерение и сравнение фактического контролируемого параметра объекта $x(t)$ с заданным на данный момент времени $g(t)$, в результате чего выявляется ошибка (рассогласование)

$$\varepsilon(t) = x(t) - g(t),$$

на основе которой формируется регулирующее воздействие $u(t)$.

Система автоматического регулирования противодействует возмущениям, компенсирует, нейтрализует или ослабляет их выработываемыми встречными регулируемыми воздействиями, обеспечивая заданное на каждый момент времени состояние объекта. Регулирование продолжается до тех пор, пока ошибка не становится меньше порога чувствительности системы.

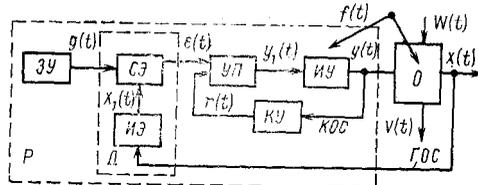


Рис. 1.3. Функциональная схема системы автоматического регулирования.

Функциональная схема состоит из устройств, узлов, элементов, каждый из которых исполняет свою функцию в системе и графически изображается прямоугольниками, а также из связей между ними, изображаемых стрелками, указывающими направление прохождения сигналов (информации).

1. Датчик или измерительное устройство (элемент) ИЭ измеряет действительную регулируемую величину $x(t)$ и преобразует ее в сигнал $x_1(t)$, удобный для дальнейшего использования (чаще всего в ток или напряжение).

2. Задатчик или задающее устройство ЗУ формирует требуемое на каждый момент времени задающее воздействие $g(t)$ в удобном для сравнения с $x_1(t)$ виде, имитирующее заданное значение регулируемой величины $x(t)$.

3. Сравнивающее устройство (элемент) СЭ выявляет и измеряет разность $x_1(t) - g(t)$ и дает на выходе сигнал ошибки $\varepsilon(t)$, пропорциональный отклонению действительной регулируемой величины $\Delta x(t)$ от заданного на данный момент значения.

4. Усилитель или усилитель-преобразователь УП усиливает и преобразует сигнал ошибки до $y_1(t)$, достаточный для управления исполнительным устройством

5. Исполнительное устройство ИУ под воздействием $y_1(t)$ вырабатывает регулирующее воздействие $u(t)$, поступающее на регулирующий орган объекта управления.

6. Корректирующие устройства КУ включают последовательно или параллельно для улучшения качества регулирования объекта с помощью формирующихся в них дополнительных воздействий $\Gamma(t)$.

1.4. Регулирование по отклонению и по возмущению регулируемой величины

Все системы регулирования можно разделить на две группы в зависимости от места приложения регулирующего воздействия.

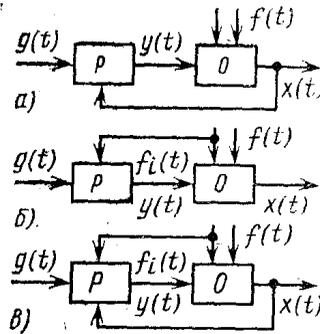


Рис. 1.4. Функциональная схема систем автоматического регулирования по отклонению (а), возмущению (б), комбинированная (в).

Оно может быть направлено либо на компенсацию отклонения регулируемой величины, либо на ликвидацию возмущения, которое вызвало это отклонение.

Большая часть систем автоматического регулирования построена по контролю отклонения регулируемой величины от заданной (компенсационный принцип Ползунова—Уатта). В таких системах контролируется регулируемая величина $x(t)$; она сравнивается с заданным для данного момента управляющим воздействием $g(t)$, в результате чего выявляется ошибка $\varepsilon(t)=x(t)-g(t)$.

При регулировании по возмущению из всех возможных возмущений, которые могут действовать на систему и вызывать отклонение регулируемой величины, выбирается какое-то одно, основное $f_i(t)$, которое в данных условиях работы оказывает решающее влияние на состояние объекта.

В комбинированной системе регулирования контролируются одновременно регулируемая величина и основное возмущение

1.5. Статическое и астатическое регулирование

Системы автоматического регулирования можно разделить на статические и астатические, если за основу классификации принять характеристику регулирования $x(f_n)$ — зависимость установившихся значений регулируемой величины и внешнего возмущающего воздействия f_n .

При постоянном входном воздействии по окончании переходного процесса на выходе статической системы устанавливается постоянная, зависящая от воздействия и параметров системы.

При постоянном входном воздействии по окончании переходного процесса на выходе астатической системы в установившемся режиме отклонение регулируемой величины стремится к нулю независимо от воздействия. В зависимости от точки приложения воздействия одна и та же система может быть как статической, так и астатической.

1.6. Прямое и не прямое регулирование

Системы автоматического регулирования можно классифицировать по способу воздействия чувствительного элемента системы на регулирующий орган.

В системах прямого регулирования чувствительный элемент (датчик) непосредственно воздействует на регулирующий орган, сам поставляя ему необходимую энергию.

В системе непрямого регулирования энергия, необходимая для перемещения регулирующего элемента, поступает от вспомогательного источника. Чувствительный элемент только выявляет отклонения регулируемой величины (рассогласования). Датчик действует уже не на регулирующий орган, а на усилитель или преобразователь, который воздействует на регулирующий орган с необходимой для этого мощностью.

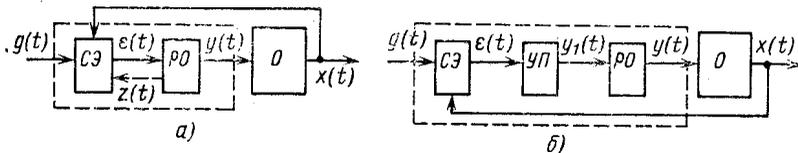


Рис. 1.5. Функциональные схемы систем прямого (а) и непрямого (б) регулирования:

СЭ – сравнивающий элемент; РО – регулирующий орган; УП – усилитель.

Контрольные вопросы:

1. Почему возникает необходимость регулирования?
2. Охарактеризуйте статическое и динамическое состояние объекта регулирования.
3. Приведите классификацию систем автоматического контроля.
4. Что такое система автоматического регулирования?
5. Охарактеризуйте системы прямого и непрямого регулирования.

Лекция № 2. Свойства систем автоматического регулирования.

2.1. Уравнения звеньев и систем автоматического регулирования

Установившееся состояние или состояние равновесия системы характеризуется установившимися значениями всех воздействий, на нее и всех переменных. При этом состояние системы описывается уравнением статики. При нескольких воздействиях система описывается семейством статических характеристик.

При последовательном соединении звеньев, описываемых уравнениями $y_1 = F_1(x)$; $y_2 = F_2(x)$; $y_3 = F_3(x)$, общее уравнение статики всей системы имеет вид

$$y = F_3(F_2(F_1(x))).$$

При параллельном соединении звеньев общее уравнение статики имеет вид

$$y = \sum_{i=1}^n F_i(x)$$

Состояние системы в неустановившемся состоянии, когда все или некоторые воздействия и переменные изменяются во времени, описывается уравнением переходного процесса или уравнением динамики. Динамическое состояние системы можно представить в виде совокупности дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы — механические, электрические, электромагнитные и др., — происходящие в элементах (звеньях) системы

Для исследования же системы удобнее иметь одно общее дифференциальное уравнение, составленное на основе уравнений каждого из входящих в нее отдельных звеньев путем исключения промежуточных переменных, при этом за входную и выходную величины каждого из них необходимо принимать те, которые указаны в функциональной схеме исследуемой системы:

$$F(y, \dot{y}, \ddot{y} \dots) = \Phi(x_1, \dot{x}_1; x_2, \ddot{x}_2 \dots; f_1, f \dots),$$

где $y, \dot{y}, \ddot{y} \dots$ — управляемая переменная и ее производные (обобщенные выходные координаты); $x_1, \dot{x}_1; x_2, \dot{x}_2 \dots$ — входные переменные (задающие или управляющие воздействия) и их производные (обобщенные входные координаты); $f_1, f \dots$ — возмущающее воздействие и его производные (обобщенные координаты возмущающего воздействия).

Если система линейна (см. ниже), то для нее справедлив принцип суперпозиции, т. е., если к линейной системе приложено несколько управляющих и возмущающих воздействий, то эффект их совместного действия таков же, как сумма эффектов от каждого в отдельности.

При исследовании САР часто используют линейные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами. Для их решения удобно использовать операторный метод, при котором функции времени по определенным правилам заменяются соответствующими им операторными изображениями; по ним проводят решение, а затем переходят от изображений к самим величинам.

Приведем несколько часто встречающихся функций времени и соответствующих изображений в операторной форме по Лапласу:

$$A(t) \leftrightarrow \frac{A}{p}; \quad t \leftrightarrow \frac{1}{p^2}; \quad e^{\pm \alpha t} \leftrightarrow \frac{1}{p \pm \alpha}; \quad 1 - e^{-\alpha t} \leftrightarrow \frac{\alpha}{p(p - \alpha)};$$

$$\sin \omega_0 t \leftrightarrow \frac{\omega_0}{p^2 + \omega_0^2}; \quad \cos \omega_0 t \leftrightarrow \frac{p}{p^2 + \omega_0^2}$$

Символ p можно рассматривать не только как упрощенное обозначение операции дифференцирования, но и как число, которое можно подвергнуть алгебраическим действиям.

2.2. Передаточные функции и структурные схемы

Передаточной функцией системы или звена (элемента) называют отношение изображения Лапласа для выходной и входной величин при их начальных нулевых условиях и при отсутствии других воздействий

$$W(p) = Y(p)/X(p).$$

При составлении передаточной функции для системы применяют определенные правила в зависимости от способов соединения входящих в нее звеньев.

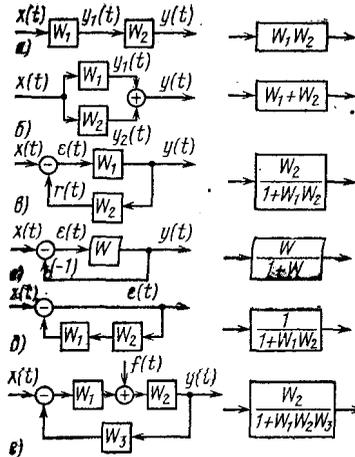


Рис. 2.1. Основные эквивалентные преобразования структурных схем САР

2.3. Эквивалентные преобразования структурных схем

Структурная схема САР дает графическое и математическое представление о ее свойствах. В САР обычно содержится несколько звеньев. Звенья между собой соединяются последовательно, параллельно, смешанным и перекрестным способами, в результате чего структурная схема САР может оказаться неудобной для исследования.

При переносе точек суммирования (сумматоров) через узлы разветвления (точки съема) сигналов учитывается направление относительного перемещения.

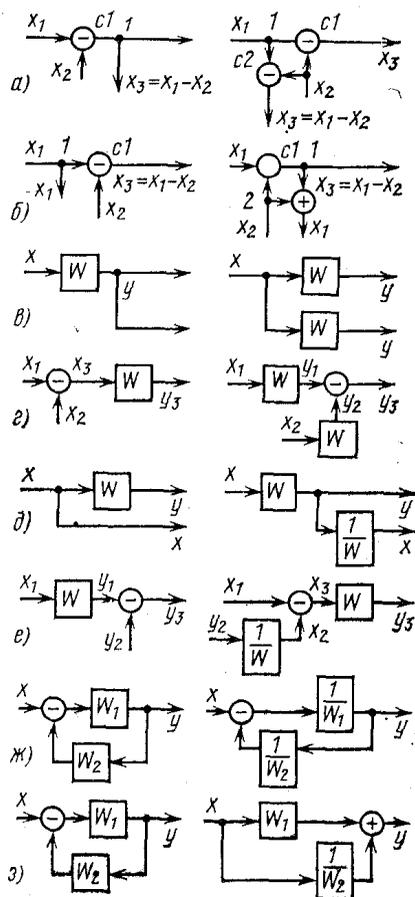


Рис. 2.2. Эквивалентные преобразования структурных схем САУ

2.4. Частотные характеристики

Если на вход звена или линейной системы, состоящей из ряда последовательно соединенных звеньев, в разомкнутом состоянии подать гармоническое воздействие постоянной амплитуды X частоты ω , то после затухания переходного процесса на выходе установится гармоническое изменение выходной величины с той же частотой, которую имеет входная величина, но с амплитудой Y и с отставанием по фазе на угол φ ;

$$x(t) = X \sin \omega t,$$

$$y(t) = Y \sin (\omega t + \varphi).$$

Частотные характеристики наглядно показывают, как изменяются амплитуда и фаза сигнала от его частоты при прохождении через систему (звено).

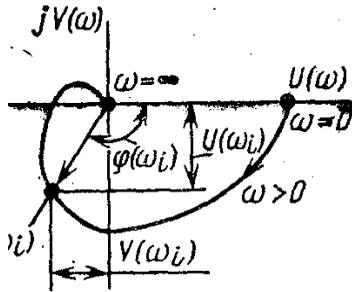


Рис. 2.3. Амплитудно-фазовая частотная характеристика.

2.5. Типовые звенья.

Динамические звенья САР по их реакции на типовые входные воздействия можно разделить на:

1) Позиционные или статические – звенья с линейной зависимостью выходной величины от входной в установившемся режиме.

а) Идеальное звено: $y(t)=kx(t)$; $W(p)=k$

– датчики, звено САР, связывающее глубину проплавления шва с длиной дуги, механический редуктор.

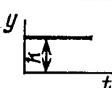
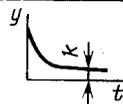
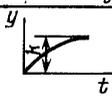
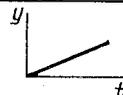
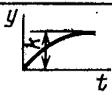
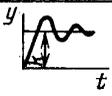
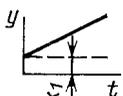
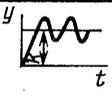
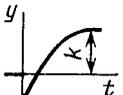
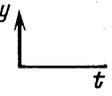
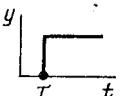
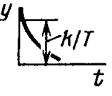
б) Аперiodическое звено 1-го порядка:

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx; W(p) = \frac{k}{1+Tp}$$

- термopаpa, генератор постоянного тока, электродвигатель, если входной величиной служит ток якоря, а выходной – угловая скорость вала, звено, связывающее длину дуги или глубину проплавления шва с напряжением на ней.

Таблица 2.1.

Типовые звенья САР

Звено, $W(p)$	$y(t)$		
1. Идеальное k		8. Форсирующее $k(Tp+1)$	
2. Аperiodическое 1-го порядка $\frac{k}{1+Tp}$		9. Интегрирующее идеальное $\frac{k}{p}$	
3. Аperiodическое 2-го порядка $\frac{k}{(1+T_1p)(1+T_2p)}$		10. Интегрирующее реальное $\frac{k}{p(Tp+1)}$	
4. Колебательное $\frac{k}{T^2p^2+2\alpha Tp+1}$		11. Издромное $\frac{k}{p}(Tp+1)$	
5. Консервативное $\frac{k}{T^2p^2+1}$		12. Устойчивое инерционное неминимально-фазовое $k \frac{1-T_0p}{1+Tp}$	
6. Дифференцирующее идеальное kp		13. С запаздыванием идеальное $ke^{-\tau p}$	
7. Дифференцирующее реальное $\frac{kp}{Tp+1}$			

в) Аperiodическое

звено

2-го

порядка:

$$T_1T_2 \frac{d^2y}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dy}{dt} + y = kx;$$

$$W(p) = \frac{k}{(1+T_1p)(1+T_2p)}$$

- электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением при учете индуктивности якоря.

г) Колебательное звено: $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2aT \frac{dy}{dt} + y = kx$;

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2aTp + 1}$$

- электрический контур машины для контактной сварки; звено, описывающее гидродинамические процессы в сварочной ванне.

д) Консервативное звено: $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + y = kx$; $W(p) = \frac{k}{1 + T^2 p^2}$

- электродвигатель постоянного тока, если не учитывать активного сопротивления его якоря; механическая передача при отсутствии трения.

2) Дифференцирующие звенья реагируют на скорость изменения входного воздействия. У них в установившемся состоянии выходная величина пропорциональна производной по времени от входной величины.

а) Идеальное (безынерционное) дифференцирующее звено:

$$y = k \frac{dx}{dt}; W(p) = kp.$$

- тахогенератор постоянного тока при холостом ходе или в режиме, близком к нему, используемый в системах регулирования скорости подачи электродной проволоки, системах, следящих за ориентацией электрода относительно изделия, или в системах автоматической стабилизации скорости поворота изделия во вращателях.

б) Реальное (инерционное) дифференцирующее звено:

$$T \frac{dy}{dt} + y = k \frac{dx}{dt}; W(p) = \frac{kp}{1 + Tp}$$

- пассивная КС-цепочка и дифференцирующий трансформатор, используемые в САР сварочных процессов для повышения их качества.

в) Форсирующее звено – звено, у которого, сигнал на его выходе пропорционален не только входному воздействию, но и его производной: $y = k\left(T \frac{dx}{dt} + x\right)$; $W(p) = k(Tp + 1)$

- звено, связывающее ток с напряжением в сварочном генераторе с самовозбуждением.

3) Интегрирующие звенья – звенья, в которых в установившемся режиме выходная величина пропорциональна интегралу по времени от входной величины. В отличие от позиционных звеньев интегрирующие звенья не приходят к установившемуся новому состоянию, а их выходная величина имеет тенденцию к неограниченному увеличению.

а) Идеальное интегрирующее: $\frac{dy}{dt} = kx$; $W(p) = \frac{k}{p}$

- исполнительный гидромеханизм машин контактной сварки, электродвигатель при пренебрежении электромеханической постоянной времени, звено, связывающее длину дуги со скоростью подачи проволоки при сварке плавящимся электродом.

б) Реальное (инерционное) интегрирующее звено:

$T \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = kx$; $W(p) = \frac{k}{p(1 + Tp)}$

- электродвигатель, если учитывать только одну наибольшую постоянную времени его и за входное воздействие считать напряжение на якоре, а за выходное - угол поворота якоря.

2.6. Переходная функция

Внешние воздействия на систему регулирования могут иметь самый разнообразный характер — это может быть скачок, кратковременное импульсное возмущение, монотонно изменяющееся возмущение, гармоническое, произвольное. Для системы одним из наиболее «неприятных» является возмущение

типа скачка. И хотя такой вид возмущения в реальных условиях встречается реже других, именно его чаще используют в качестве типового при исследовании систем автоматического регулирования.

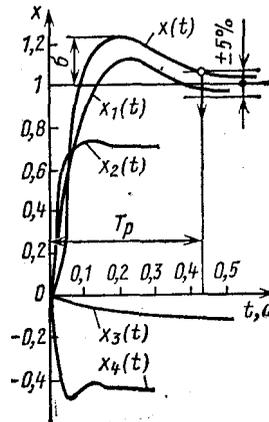


Рис. 2.4. Переходная функция и ее составляющие.

Контрольные вопросы:

1. Как рассчитывается общее уравнение статики системы при последовательном и параллельном соединении звеньев?
2. Как описывается динамическое состояние системы?
3. Что называют передаточной функцией?
4. Приведите классификацию позиционных звеньев.
5. Приведите примеры дифференцирующих звеньев.

Лекция №3. Устойчивость, качество и надежность систем автоматического регулирования

3.1. Устойчивость систем

Пока не меняется заданный регулируемый параметр или отсутствуют внешние и внутренние возмущения, система автоматического регулирования находится в установившемся состоянии покоя или в состоянии движения с постоянной скоростью. Если после возмущающего воздействия управляемая

переменная все более отклоняется от установившегося значения, т. е. система не может восстановить равновесия, ее называют неустойчивой. Если в ответ на возмущение в системе устанавливается незатухающий колебательный процесс, то такая система находится на границе асимптотической устойчивости. У устойчивой системы переходный процесс сходящийся к установившемуся состоянию в прежнем или новом заданном положении.

Устойчивость системы необходимо исследовать в следующих случаях: при определении устойчивости системы определенной структуры при определенных ее параметрах; при выборе настройки параметров, обеспечивающей устойчивый режим работы, при определении допустимых пределов изменения параметров.

Свободное движение системы описывается характеристическим уравнением:

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0,$$

где $a_0 > 0$; p — комплексное число.

Критерий устойчивости позволяет не только определить — устойчива или неустойчива система, но и исследовать влияние ряда параметров и структурных изменений в ней на устойчивость.

Критерий устойчивости движения, установленный А. М. Ляпуновым, основан на анализе распределения на плоскости комплексных чисел корней характеристического уравнения, составленного для линеаризованной системы. Этот метод определения устойчивости имеет ограниченное применение, так как трудоемок.

Алгебраический критерий И. А. Вышнеградского применим для систем до третьего порядка. Используя этот критерий, можно построить область устойчивых режимов работы системы с выделением зон с апериодическим, колебательным и монотонным переходными процессами.

Алгебраический критерий Е. Рауса позволяет судить об устойчивости замкнутой системы высокого порядка ($n > 5$) по

коэффициентам характеристического уравнения (особенно в тех случаях, если они заданы численно), сведенным в таблицу. При составлении таблицы в первую строку записывают коэффициенты с четными индексами a_0, a_2, a_4, \dots , во вторую—с нечетными a_1, a_3, \dots , последующие строки получают путем деления разностей перекрестных произведений коэффициентов двух предыдущих строк на коэффициент первого столбца предыдущей строки.

Для устойчивой системы необходимо и достаточно, чтобы при $a_0 > 0$ коэффициенты первого столбца таблицы были положительны, т. е.

$$a_0 > 0; a_1 > 0; a_2 - (a_0 a_3) / a_1 = b_1 > 0; a_3 - (a_1 b_2) / b_1 > 0 \dots$$

Алгебраический критерий А. Гурвица в аналитической форме связывает условия устойчивости системы с ее параметрами и позволяет выделить область устойчивости. Критерий основан в вычислении так называемых определителей Гурвица по коэффициентам характеристического уравнения.

Главный определитель Гурвица состоит из h строк и n столбцов и включает коэффициенты характеристического уравнения, располагающиеся следующим образом (строки с нечетными и четными индексами чередуются, при отсутствии какого-либо коэффициента пишется 0 и пр.):

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_1 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \dots & \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \dots & \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

Другие определители (диагональные миноры) имеют вид

$$\Delta_1 = a_1; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_4 \end{vmatrix}; \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} \text{ и т.д.}$$

По Гурвицу для устойчивой системы необходимо и достаточно, чтобы при $a_n > 0$ все n определителей, составленных по указанной схеме, были положительны, т. е. $\Delta_1 > 0$; $\Delta_2 > 0$; $\Delta_3 > 0$. Необходимым и достаточным условием устойчивости является для систем:

первого и второго порядка $a_0 > 0$; $a_1 > 0$; $a_2 > 0$;

третьего порядка $(a_1 a_2 - a_0 a_3) > 0$;

четвертого порядка $[a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4] > 0$.

Приравнявая нулю последний и предпоследний миноры (Δ_n и Δ_{n-1}), можно построить в области параметров системы границы ее колебательной и асимптотической устойчивости.

В случае неустойчивого состояния системы эта характеристика показывает, какие вариации параметров позволяют перевести ее в область устойчивых состояний.

3.2. Качество систем

Качество системы имеет смысл выяснять только после установления, что она устойчива. Наглядное представление о динамических свойствах САР, ее качестве, качестве регулирования дает переходная функция.

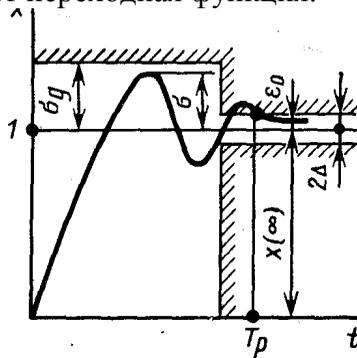


Рис. 3.1. Переходная функция и показатели качества

Качество системы характеризуется следующим: как быстро система реагирует на возмущения и как сильно их подавляет, каким путем она приходит в установившееся состояние и насколько точно воспроизводятся системой

полезные сигналы после того, как установившееся состояние достигнуто.

В устойчивой системе переходный процесс заканчивается на некотором установившемся уровне, а характер его может быть монотонным (отклонение только уменьшается), аperiodическим (имеется только один выброс отклонения) или колебательным (управляемая переменная несколько раз переходит через уровень установившегося значения).

К основным показателям качества САР относятся время регулирования, перерегулирование, колебательность, статическая и динамическая точность, добротность системы.

Основным показателем статического режима является статическая точность, характеризующаяся статической ошибкой $\varepsilon_0 = \varepsilon(\infty)$ в установившемся состоянии.

Если система астатического типа, то эта ошибка теоретически равна нулю.

Поскольку коэффициент передачи системы определяет ее свойства и в статике, и в динамике, его относят к показателям качества и называют добротностью системы. Различают при этом добротность позиционную (или по положению) D_0 , скоростную $D_{ск}$ и по ускорению $D_{уск}$. Добротность дает представление одновременно и о скорости реакции системы, и о ее точности:

$$D_0 = \frac{x}{\varepsilon_0}; D_{ск} = \frac{\dot{x}}{\varepsilon_{ск}}; D_{уск} = \frac{\ddot{x}}{\varepsilon_{уск}}$$

Динамическая ошибка — это отклонение регулируемой величины во время переходного процесса от заданного значения. Если, до подхода к положению равновесия ошибка отрицательна, то выход из него (выброс) дает ошибку положительную, обратный ход — вновь отрицательную, но уже меньшую, и т. д.

Перерегулирование - относительная величина максимального отклонения (выброса) регулируемой величины от ее нового установившегося значения:

$$\sigma = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} 100\% ,$$

где x_{∞} — установившееся значение регулируемой величины; x_{\max} — максимальное ее значение.

Считают допустимым перерегулирование до $\sigma = 20—30\%$, при этом запас устойчивости оказывается достаточным.

Время регулирования T_p — это промежуток времени от момента приложения ступенчатого воздействия до того момента, когда текущее отклонение регулируемой величины становится меньше или равным заданной допустимой ошибке, за которую принимают зону нечувствительности системы и ограничивают ее пределами $\pm\Delta = 5\%$:

$$|x(t) - x(\infty)| \leq \Delta$$

Можно считать переходный процесс закончившимся, когда переходная функция в последний раз входит в зону нечувствительности выходного параметра, ограниченную полосой с пределами $\pm\Delta$.

По значению T_p оценивают быстродействие системы — чем быстрее заканчивается переходный процесс, тем выше качество системы. Максимальное допустимое время регулирования задают, исходя из свойств конкретного объекта и реальных возможностей системы.

Быстродействие САР характеризуется также временем нарастания выходной координаты или первого согласования t_n , или временем достижения характеристикой первого максимума, временем установления t_{\max} .

Степень колебательности μ обычно определяют по числу переходов через положение равновесия за время регулирования. В большинстве случаев допускается $\mu = 2—3$.

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях необходимо исследовать устойчивость системы?
2. Перечислите критерии устойчивости систем.

3. Приведите основные параметры качества САР.
4. Что такое статическая и динамическая точность системы?
5. Как определяется перерегулирование системы?

Лекция №4. Повышение точности и качества систем автоматического регулирования

4.1. Анализ систем автоматического регулирования

Нередко систему автоматического регулирования создают чисто экспериментально на базе имеющихся элементов и на основе лишь опыта и интуиции конструкторов. В этом случае возникает необходимость исследования системы для более полного определения ее свойств. Анализ системы проводят в следующей последовательности:

1. Статический расчет звеньев системы. Передаточные коэффициенты и постоянные времени их могут быть найдены в справочниках, на основе расчета по каталожным данным, либо экспериментально — по статическим характеристикам выход-вход и осциллограммам переходных процессов.

2. Определение передаточных функций и структурной схемы системы. Для каждого реального элемента системы подбирают типовое звено или их комбинацию, проводят анализ полученных передаточных функций и упрощают их. Затем составляют структурную схему системы. После этого составляют общую передаточную функцию всей системы в разомкнутом состоянии, упрощают ее.

3. Построение частотных характеристик системы.

4. Анализ устойчивости системы.

6. Построение кривой переходного процесса.

7. Определение точности и показателей качества системы.

4.2. Методы улучшения точности и качества

Спроектированная САР не всегда удовлетворяет поставленным требованиям, что можно объяснить отсутствием у разработчиков исчерпывающих сведений об используемых в системе элементах и недооценкой необходимости тщательного их исследования.

Результаты анализа спроектированной и реализованной системы показывают обычно, что либо не все показатели ее оказываются желаемыми, либо резервы повышения качества остаются неиспользованными.

Система автоматического регулирования, содержащая лишь самые необходимые функциональные элементы, возможностями улучшения ее качества не обладает, ибо параметры и характеристики этих элементов определены и неизменяемы. Усложнение ее структуры путем добавления дополнительных связей и корректирующих устройств позволяет синтезировать систему с заданным качеством.

Цель синтеза — отыскание структуры системы, оптимальной по отношению к каким-либо показателям качества. Такую систему трудно реализовать, поэтому обычно оптимальной считают систему, отвечающую некоторому заданному критерию оптимизации, обеспечивающему заданные статические и динамические характеристики.

Задача улучшения свойств САР заключается в отыскании и выборе способов и технических средств, обеспечивающих повышение статической и динамической точности системы при уменьшении времени регулирования, перерегулирования, колебательности до заданных значений. Если эти устройства вводят с целью обеспечения необходимых запасов устойчивости, то их называют еще и стабилизирующими.

Увеличение точности САР наиболее просто достигается повышением общего коэффициента передачи системы, так как он входит в качестве делителя во все коэффициенты ошибок.

Делается это путем введения в прямую цепь системы дополнительного усилителя либо повышением чувствительности датчика, уменьшением коэффициента

передачи редуктора и т. п. Однако этот метод дает и отрицательный эффект, ибо с увеличением k снижается запас устойчивости и повышается колебательность системы. Разрешить это противоречие можно только с помощью вводимых в систему одновременно с повышением k корректирующих устройств.

Когда управляющее воздействие имеет малый уровень помех, хорошим способом повышения точности его воспроизведения может быть введение на вход системы, до сравнивающего элемента, входного фильтра $W_{\phi}(p)$ — форсирующего звена (рис. 4.1, а). Оно не влияет на устойчивость системы и косвенно повышает ее астатизм.

С целью уменьшения (исключения ошибки в системе используют также неединичную главную обратную связь (рис 4.1, б). Для статической системы целесообразно введение $W_{o.c}(p) = 1 - 1/k$

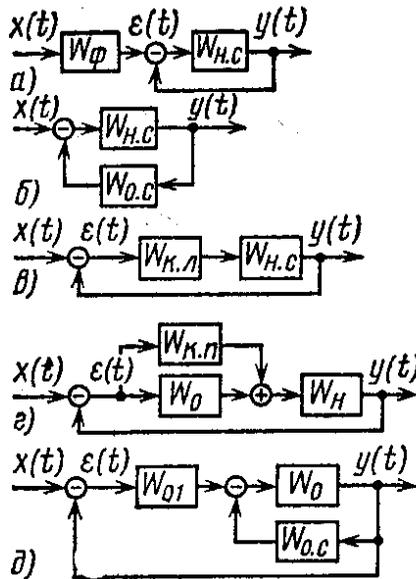


Рис. 4.1. Структурные схемы скорректированных систем

Существенно сказывается на качественных показателях системы включения в прямую цепь ее последовательно корректирующего звена $W_{кп}(p)$, позволяющего регулировать по интегралу и производным от ошибки (рис. 4.1, в). Включение последовательных звеньев в исходную нескорректированную систему с передаточной функцией $W_{н.с}(p)$ дает скорректированную систему:

$$W_c(p) = W_{н.с}(p) W_{кп}(p)$$

Интегрирующие корректирующие звенья в такой системе, повышая порядок астатизма, устраняют установившиеся ошибки, в том числе и при движении с постоянной скоростью либо с постоянным ускорением. Однако интегрирующие звенья существенно сдвигают фазу сигнала. Поэтому одновременно с ними приходится включать в систему другие корректирующие звенья, компенсирующие вызванное ими понижение устойчивости.

Дифференцирующие последовательные корректирующие звенья, во-первых, повышают запас устойчивости системы, а во-вторых, позволяют повысить ее точность без увеличения общего коэффициента усиления. Система, реагирующая на производные от ошибки, чувствительна также и к тенденции изменения ее величины. Она быстрее реагирует на управляющие и возмущающие воздействия.

Корректирующие звенья $W_{кп}(p)$ можно включать и параллельно, охватывая ими звенья прямой цепи не скорректированной системы. При этом передаточная функция разомкнутой скорректированной системы:

$$W_c(p) = (W_o(p) + W_{кп}(p)) W_n(p),$$

где $W_o(p)$ и $W_n(p)$ — передаточные функции охваченного и неохваченного корректирующим звеном участков прямой цепи системы.

Если необходимо получить одинаковый эффект от введения параллельного или последовательного корректирующих звеньев, то можно рассматривать $W_o(p) +$

$W_{к.п}(p) = W_{к.л}(p)$ как последовательное корректирующее звено, в котором используется часть звеньев нескорректированной системы. Этому способу коррекции, таким образом, присущи все преимущества и недостатки последовательной коррекции. Основной же смысл параллельной коррекции заключается в возможности реализации сложного закона регулирования с введением производных и интеграла от сигнала ошибки.

Наилучших результатов можно достичь при использовании местных или внутренних корректирующих обратных связей, охватывающих часть звеньев прямой цепи системы. В этом случае (рис. 4.1, д)

$$W_c(p) = \frac{W_{н.с}(p)}{1 + W_0(p)W_{о.с}(p)}$$

Корректирующие обратные связи при соответствующем выборе $W_{о.с}(p)$ оказывают наиболее сильное влияние на охваченный ими комплекс звеньев корректируемой системы.

Контрольные вопросы:

1. Приведите последовательность этапов анализа САР.
2. Как повышают точность САР?
3. Какова задача улучшения свойств САР?

Лекция №5. Анализ условий автоматизации

5.1. Автоматизация сварочных процессов как часть комплексной механизации и автоматизации сварочного производства

Комплексную автоматизацию сварки в общем случае можно рассматривать как совокупность решения двух задач: I — ориентированного движения рабочего органа (электродов, дуги, луча) по заданной пространственной траектории, обеспечения требуемого цикла сварки и закона управления технологическими параметрами (скоростью сварки, силой тока, напряжением на электродах, скоростью подачи проволоки и т.

д.) в функции различных технологических возмущений; II — механизации и автоматизации подготовительных сварочных и транспортных операций.

Особенности I-ой задачи: необходимость изучения свойств технологического объекта регулирования каждого способа сварки с целью построения расчетных моделей; определение критериальных физических и геометрических параметров объекта, наиболее полно характеризующих качество сварного соединения, разработка способов измерения критериальных параметров в процессе сварки; исследование на моделях сварочного контура совместно с источником питания; разработка замкнутых систем автоматического регулирования различных критериальных параметров объекта.

Сложность решения задачи I обусловлена необходимостью учета при построении расчетных моделей физических процессов, происходящих в сварочном контуре (электрических, электромагнитных, тепловых, механических, гидродинамических, радиационных). Из-за изменения параметров процесса во времени и физических констант от внешних условий, нелинейности характеристик процесса не всегда удается описать его простыми дифференциальными уравнениями

Конечной целью решения задачи I является построение системы автоматического регулирования или управления параметрами процесса сварки. Эффективность работы этих систем зависит от уровня механизации и автоматизации подготовительных, сборочных и транспортных операций (задача II). Таким образом, решение задачи II полностью связано с решением задачи I. Оно позволяет улучшить качество сборки стыка под сварку, повысить точность позиционирования детали под электродами, а следовательно, снизить уровень возмущений в сварочном контуре.

5.2. Анализ возмущающих воздействий при сварке

Процесс сварки, как и любой другой процесс, протекает в тесной взаимосвязи с окружающей средой. Изменения в окружающей среде вызывают изменения в характере процесса сварки. В автоматике такой процесс называют возмущенным. Возмущения могут привести к отклонению свойств сварного соединения от требуемых, т. е. к появлению недопустимых дефектов в сварном шве.

Различные по физической природе возмущения приложены в разных точках сварочного контура источник — дуга — изделие, поэтому влияние одних возмущений на процесс сварки может быть ослаблено или относительно легко устранено путем их измерения и компенсации, устранение других — связано с определенными трудностями.

Например, влияние возмущений, воздействующих на цепь источник—сварочная дуга (колебания напряжения питающей сети, изменение длины дуги и т. д.), сравнительно просто устранить с помощью систем автоматической стабилизации параметров режима сварки: сварочного тока, напряжения на дуге, скорости сварки, скорости подачи плавящегося электрода (присадочной проволоки) и т. д.

Значительно сложнее компенсировать влияние возмущений, приложенных к цепи электрод—деталь. Влияние их не ослабляется с помощью систем автоматической стабилизации параметров режима сварки.

С некоторыми допущениями эти возмущения условно можно разделить на две группы: конструктивные и технологические.

Конструктивные возмущения обусловлены конструктивными особенностями сварного соединения. Они возникают при расположении отверстий или приливов в непосредственной близости стыка, изменении толщины свариваемого металла, разностенности детали и т. д. Влияние конструктивных возмущений выражается в изменении условий теплопередачи и перераспределении тепловой мощности сварочной дуги между деталью и окружающей средой.

Технологические возмущения возникают в основном при неточностях в сборке стыка, приводящих к изменению зазора между свариваемыми кромками, формы и размеров разделки кромок, смещению кромок, изменению степени прилегания формирующей подкладки по длине стыка. Кроме того, к этим возмущениям можно отнести эрозию электрода, изменение структурной и химической однородности свариваемого материала, изменение качества защитной среды, наличие технологических прихваток по длине стыка. Технологические возмущения в основном имеют случайный характер. Они чаще всего появляются из-за несовершенства сборочных приспособлений и технологической оснастки.

Конструктивные и технологические возмущения трудно контролировать в процессе сварки. Для измерения их требуются специальные датчики, работающие по различным физическим принципам.

Классификация основных возмущений, действующих в сварочном контуре, приведена на рис. 5.1. В ней учтены точка приложения возмущений в сварочном контуре, физическая природа возмущения.

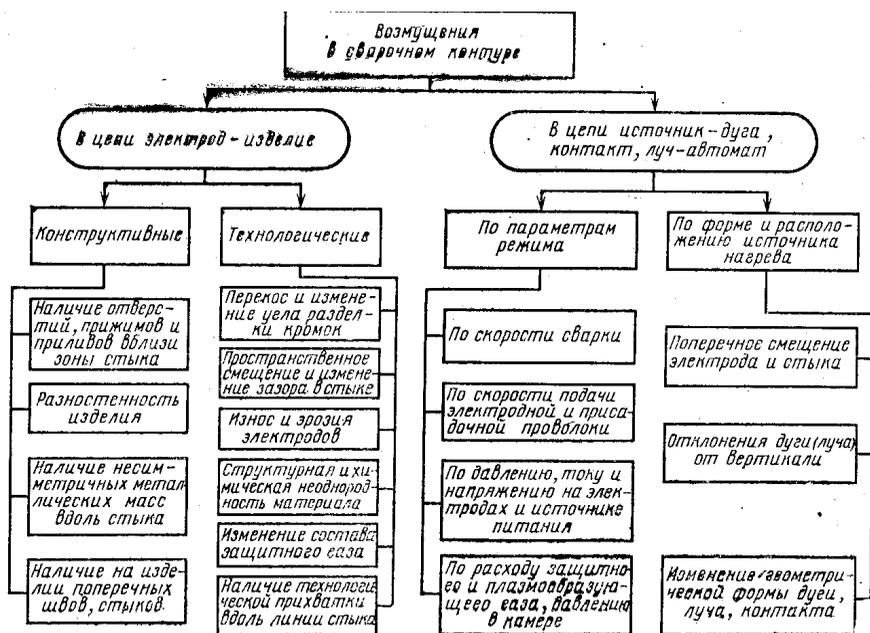


Рис. 5.1. Классификация возмущений в сварочном контуре

5.3. Характеристики объектов регулирования при различных способах сварки

Контактная сварка. Физическая природа образования сварного соединения при контактной сварке определяется способом сварки. Различают два основных способа нагрева металла при контактной сварке: сопротивлением (стыковая сварка сопротивлением) и оплавлением (стыковая сварка оплавлением). При сварке сопротивлением ток проходит через плотно сжатые детали в месте будущего сварного соединения. В каждом элементарном объеме металла выделяется теплота, количество которой пропорционально квадрату плотности тока, удельному сопротивлению металла и времени протекания тока. При сварке оплавлением детали плотно не сжимаются, а лишь доводятся до соприкосновения. Благодаря большой плотности тока в местах соприкосновения металл быстро нагревается, элементарные контакты между деталями превращаются в

жидкие перемычки, которые под действием электродинамических сил или в результате перегрева разрушаются. Необходимый для сварки разогрев деталей можно получить, перемещая их навстречу друг другу так, чтобы процесс возникновения и разрушения элементарных контактов был непрерывным.

При стыковой сварке сопротивлением основной регулируемой переменной, наиболее полно характеризующей качество сварного соединения, является размер литого ядра. Так как непосредственное измерение размеров ядра в процессе сварки затруднительно, возможно измерение косвенных параметров процесса, функционально связанных с изменением размеров ядра. К таким параметрам относятся: температура вблизи зоны сварного соединения, сопротивление между электродами, перемещение электродов при сварке. Основными регулирующими параметрами процесса можно считать силу сварочного тока и его форму, усилие на электродах.

При стыковой сварке оплавлением оценочным параметром качества процесса можно считать частоту разрыва жидких перемычек сварочного контакта. Стабильность частоты разрыва перемычек в зоне контакта является необходимым и достаточным условием устойчивости оплавления. В момент разрыва перемычки в контакте наблюдаются пульсации сварочного тока. Поэтому измеряя пульсации сварочного тока, можно получить информацию о качестве процесса оплавления сварочного контакта. При этом способе не исключается также контроль за качеством протекания оплавления по температуре вблизи зоны контакта, по полному сопротивлению между электродами и по напряжению между электродами,

Основные регулирующие параметры процесса: непрерывное, импульсное или колебательное перемещение подвижной плиты детали, напряжение между электродами, комбинации обоих параметров.

Дуговая сварка. При дуговой сварке для нагрева и плавления металла используют тепловую энергию дуги.

Сварочный контур (рис. 5.2) при дуговой сварке включает источник питания, дугу, сварочную ванну. Все элементы контура с учетом функциональной связи между ними образуют двухконтурную электрогидродинамическую систему. Воздействие на систему по любому из указанных на схеме возмущений вызывает одновременное изменение параметров во всех элементах контура.

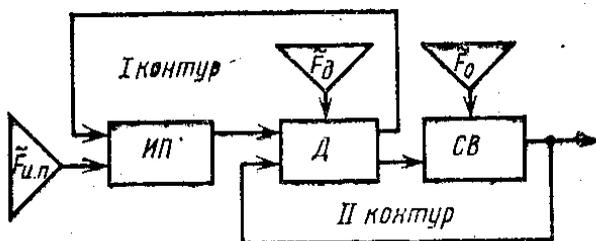


Рис. 5.2. Структура сварочного контура:

ИП — источник питания; Д — дуга; СВ — сварочная ванна; \tilde{F}_0 , $\tilde{F}_{ИП}$, \tilde{F}_D - возмущения, действующие на элементы контура.

Например, изменение в процессе сварки длины дуги вызывает изменение ее динамического сопротивления, силы тока, напряжения в источнике питания и, как следствие, энергетического и силового воздействия дуги на сварочную ванну. Временной характер изменения параметров в системе существенно зависит от статических и динамических свойств источника питания. При некотором сочетании параметров источника питания и дуги контур I может потерять устойчивость, а в контуре II могут появиться незатухающие автоколебания.

Обеспечение условий стабильного горения дуги в электрогидродинамической системе является одним из основных условий протекания процесса сварки в требуемом режиме.

Под стабильным горением дуги понимается возможность ее длительного горения в прерывистом и непрерывном режимах в условиях действующих на нее возмущений.

Свойства сварочной дуги, кроме параметров источника питания, зависят от рода тока, среды, в которой горит дуга, и материала электродов. По роду тока различают дуги постоянного и переменного тока.

В зависимости от материала электродов дуги бывают с плавящимся и неплавящимся электродами. По характеру защитной среды в зоне дуги различают следующие способы дуговой сварки: плавящимся электродом под флюсом; плавящимся электродом в среде защитного газа; плавящимся электродом со специальным покрытием или наполнением; неплавящимся электродом в среде защитного газа.

Существенное влияние на процесс сварки могут оказать следующие возмущения: в контуре I:

а) изменения длины дуги, вызываемые неровностями на поверхности изделия, капельным переносом металла и другими причинами;

б) изменения «вылета» электрода вследствие возможных колебаний расстояния между токоподводящим мундштуком и изделием;

в) изменения напряжения холостого хода (ЭДС) источника питания и сопротивления сварочной цепи, вызываемые колебаниями напряжения сети, нагревом обмоток, нестабильностью контактов и многими другими причинами;

г) изменения момента на валу двигателей подачи электрода и перемещения вдоль стыка сварочного автомата; эти возмущения приводят к изменению скорости подачи электродной проволоки и скорости сварки;

в контуре II:

д) изменения геометрии сборки стыка под сварку, зазора, притупления, угла разделки кромок;

е) структурная и химическая неоднородность свариваемого материала;

ж) изменения толщины свариваемого материала по длине стыка;

з) изменения состояния свариваемой поверхности металла (наличие на поверхности окисных пленок, масла и других вредных покрытий);

и) эрозия и изменения химического состава электрода в процессе сварки;

к) смещения электрода и стыка относительно друг друга.

Перечисленные возмущения, вызывая отклонения от номинала основных параметров режима (тока и напряжения дуги, скорости сварки) и изменяя условия ввода теплоты в зоне стыка, приводят к появлению в шве таких недопустимых дефектов, как непровары, подрезы, наплывы, поры, перехваты и др.

Электронно-лучевая сварка. Особенность характеристик объекта регулирования (сварочной ванны) при электронно-лучевой сварке обусловлена спецификой взаимодействия между лучом и жидким металлом сварочной ванны. В начале процесса сварки мощность луча сосредотачивается в поверхностном слое металла, равном глубине проникновения электронов в металл при данном ускоряющем напряжении. На этой стадии кинетическая энергия электронов при их торможении переходит в тепловую, площадь пятна нагрева близка к площади поперечного сечения луча, воздействующего на свариваемый металл. По прошествии некоторого времени начинается испарение расплавленного металла и в нем образуется углубление в виде конуса, внутрь которого углубляется электронный пучок, частично экранируемый жидким металлом ванны. Струя пара металла, двигаясь вверх, взаимодействует с жидким металлом ванны, вызывая неравномерное его перемещение вверх и образование волн и выступов на стенках ванны. При взаимном перемещении детали и электронного луча в этом случае возникает значительный градиент температур в кратере.

При разработке оборудования для электронно-лучевой сварки, с целью стабилизации гидродинамических процессов в сварочной ванне, необходимо решать задачи стабилизации и управления мощностью пучка электронов в электронных пушках, задачи стабилизации и управления фокусировкой пучка, разрабатывать системы колебаний и модуляции пучка по нужному закону относительно поверхности кратера. Быстродействие систем управления этими параметрами должно быть достаточно высоким, учитывая указанный выше частотный спектр возмущений в объекте.

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте I задачу комплексной автоматизации сварки.
2. Охарактеризуйте II задачу комплексной автоматизации сварки.
3. Приведите классификацию возмущений в сварочном контуре.
4. Каковы особенности объектов регулирования при контактной сварке?
5. Какие возмущения оказывают существенное влияние на процесс дуговой сварки?

Лекция №6. Разомкнутые системы автоматического управления

6.1. Системы управления сварочными источниками питания дуги

Системы дистанционного управления источником питания.

Дистанционное управление сварочным источником необходимо в тех случаях, когда сварщик удален от источника (например, находится внутри свариваемой конструкции), при изменениях пространственного положения электрода, когда необходимо изменить сварочный ток и т. д.

Устройства для дистанционного управления сварочным источником питания при дуговой сварке можно разделить на две группы:

- 1) выносные устройства дистанционного регулирования тока, требующие применения специальных кабелей управления;
- 2) устройства, в которых для передачи сигналов управления используется сварочный кабель.

Устройства первой группы содержат элементы, дублирующие органы управления током самого источника (например, реостат в цепи возбуждения генератора, потенциометр в обмотке управления магнитного усилителя, пусковые кнопки электромеханического привода, контакторы включения источника питания и т. п.).

Устройства второй группы обязательно содержат аппаратуру для получения и расшифровки логических сигналов, необходимых для управления силовой частью источника питания. Их применяют главным образом при сварке в монтажных условиях, так как они обеспечивают хорошую маневренность в управлении и надежность в работе.

Функциональная схема устройства первой группы показана на рис. 6.1. Последовательно с обмоткой управления w_y дросселя насыщения ДН включен блок транзисторов БТ, выполняющих функции переменного резистора. Для управления

транзисторами служит потенциометр R_p , подключенный к их базам и размещенный на держателе горелки. Цепь управления питается от стабилизированного источника ИП.

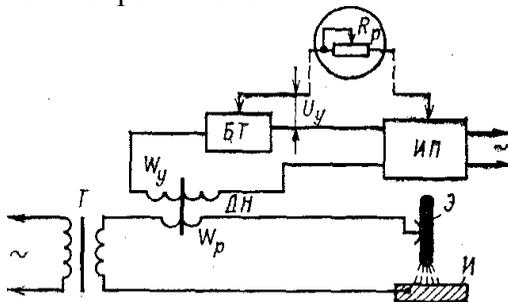


Рис. 6.1. Схема дистанционного управления источником питания дуги при сварке на переменном токе.

Аналогичные устройства дистанционного управления сварочным током могут быть построены при сварке на постоянном токе. Базовым источником питания дуги в этом случае является управляемый выпрямитель.

Примером применения устройств второй группы является автоматизация включения сварочного трансформатора и выключения его в перерывах сварки на переменном токе, что позволяет экономить до 30 % электроэнергии. На рис. 6.2 показана схема, с помощью которой при соприкосновении электрода со свариваемой деталью сварочный трансформатор включается, а при размыкании сварочной цепи выключается.

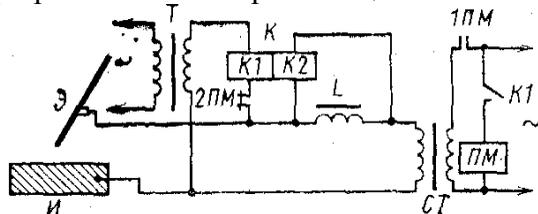


Рис. 6.2. Схема дистанционного включения источника питания дуги

При разомкнутой цепи между электродом Э и изделием И обмотка К1 двухобмоточного реле переменного тока К получает питание от понижающего трансформатора Т через

размыкающий контакт 2ПМ магнитного пускателя ПМ, вторичную обмотку сварочного трансформатора СТ и дроссель L. Индуктивное сопротивление обмоток СТ и L велико, поэтому реле K не срабатывает. Замыкание электрода Э на детали И закорачивает эти обмотки. Ток, протекающий через обмотку реле K1, возрастает, и оно срабатывает. Замыкающий контакт K1 коммутирует цепь обмотки магнитного пускателя ПМ, он срабатывает и контактом 1ПМ включает сварочный трансформатор СТ. Одновременно размыкается контакт 2ПМ, но реле K не отпускает и удерживает якорь своей обмоткой K2 до тех пор, пока по дросселю L идет сварочный ток. При размыкании цепи между электродом и деталью дроссель L обесточивается, реле K отпускает свой якорь, сварочный трансформатор СТ магнитным пускателем ПМ отключается от сети. При повторном замыкании электрода на деталь описанный процесс коммутации повторяется.

Устройства регулирования и стабилизации тока и напряжения в сварочных трансформаторах и выпрямителях. Для управления током и напряжением в источниках питания применяют магнитные усилители (МУ). На рис. 6.3, а приведена принципиальная схема источника питания для сварки на переменном токе с МУ дроссельного типа.

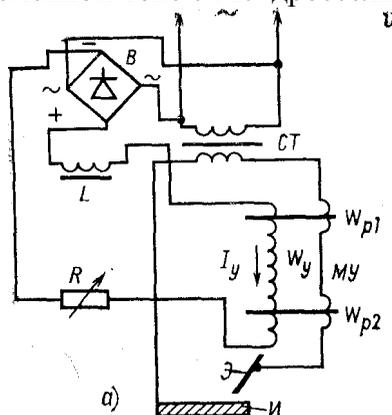


Рис. 6.3. Электрическая схема источника переменного тока с магнитным усилителем дроссельного типа

Рабочие обмотки w_{p1} и w_{p2} МУ включены в сварочную цепь последовательно с обмоткой трансформатора СТ. Обмотка управления ω_y питается от стабилизированного источника выпрямленного тока В, величину которого можно регулировать с помощью реостата R. Для подавления тока четных гармоник в цепь обмотки управления включен дроссель L с большим индуктивным сопротивлением, поэтому переменный ток практически не будет протекать в цепи управления. МУ работает в режиме вынужденного намагничивания. Это дает возможность при идеализированной прямоугольной форме кривой намагничивания сердечника МУ получить прямоугольную форму кривой сварочного тока, что способствует стабильности горения дуги.

МУ дает возможность регулировать сварочный ток $I_{св}$ электрическим способом. Это позволяет создать источники питания без перемещающихся механических устройств, таких как подвижные катушки и магнитные шунты, что резко упрощает их конструкцию, повышает эксплуатационную надежность и срок службы.

Автоматическое управление режимами работы источника сварочного тока наиболее часто используют для плавного снижения сварочного тока при заварке кратера и формировании внешних характеристик с помощью обратных связей.

Устройства для снижения напряжения холостого хода сварочных источников питания. При ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов не исключена возможность попадания электросварщика под напряжение источника сварочного тока. При этом тяжесть травмы зависит от напряжения и времени его действия. Опасным считают напряжение 12 В и выше. В режиме холостого хода источника питания напряжение может достигать 100 В и более. Кроме того, в перерывах между сварками выполняются различные вспомогательные операции: смена электрода, очистка электрододержателя, подтягивание кабеля и т. д., во время которых вероятность касания токопроводящих элементов

Рис. 6.4. Функциональная схема управления сварочным источником переменного тока с пониженным напряжением холостого хода.

6.2. Системы управления параметрами процесса при контактной сварке

Автоматическое регулирование при контактной сварке преследует цель получения наиболее стабильных и качественных сварных соединений.

Контактная сварка характеризуется малым временем протекания процесса. Это ограничивает время регулирования и не позволяет получить хорошие результаты при инерционном управлении сварочным оборудованием. Кроме того, для однофазных машин, питаемых через тиристорный контактор, единственным способом регулирования тока является изменение угла включения тиристоров. При этом время регулирования определяется длительностью полупериода напряжения сети, так как после включения тиристор становится неуправляемым и дальнейшее регулирование процесса возможно только в следующий полупериод. Важна также стабильность параметров режима сварки во всех циклах.

Основные параметры режима сварки: сила тока, усилие сжатия электродов и продолжительность их действия, геометрия рабочей поверхности электродов. Параметры за время цикла сварки одного соединения (точки, стыка) изменяются по заданной программе, зависящей от марки и толщины (сечения) свариваемого металла и других факторов. Требуемая программа изменения параметров режима реализуется с помощью специальной аппаратуры управления контактных машин.

Программа работы аппаратуры обычно заранее задается соответствующими блоками управления. Например, сила, продолжительность и повторяемость включения и выключения сварочного тока БТ и времени БВ (рис. 6.5), программа перемещения подвижной плиты при стыковой сварке и перемещение роликов при шовной сварке—блоками

перемещения плиты БПП или вращения роликов БВР, программа изменения усилия сжатия деталей или их осадка — блоком усилия БУ. Первоначальное включение и выключение сварочной машины и подача энергопитания (электрической энергии, сжатого воздуха или жидкости под давлением) выполняется блоком включения БПВ.

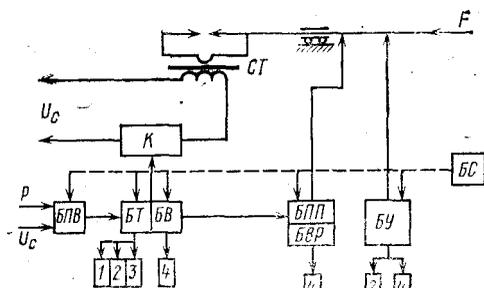


Рис. 6.5. Функциональная схема управления машинами для контактной сварки:

P , U_c и F — соответственно давление сжатого воздуха, напряжение электрической сети, усилие сжатия; узлы: 1 — фазорегулирования; 2 — стабилизации; 3 — модуляции; 4 — программирования

Последовательность включения блоков БУ, БВ, БТ, БПП, БВР и БПВ (при автоматических режимах сварки) осуществляется блоком синхронизации БС. Связь между выходными командами с блоков управления и блоков 1—4 функциональной аппаратуры, а также блока синхронизации БС обеспечивается с помощью релейных контактных и бесконтактных устройств. В однофазных контактных машинах переменного тока совокупность блоков задаются блоками тока контактора К, блоков БТ, БВ и 1—4 формирует прерыватель сварочного тока. Функциональная аппаратура 2, 4 блока БУ обеспечивает программу усилия сжатия и осадки деталей при точечной и стыковой сварке, а аппаратура 4 блоков БПП и БВР — программу перемещения подвижной плиты или сварочных роликов при стыковой или шовной сварке.

Контрольные вопросы:

1. Для чего необходимы дистанционные устройства сварочным источником?
2. На какие группы можно разделить устройства для дистанционного управления сварочным источником?
3. Каковы преимущества применения магнитных усилителей для управления током и напряжением в источниках питания?
4. Почему необходимо снижать напряжение холостого хода источников питания?
5. Каковы особенности процесса электрической контактной сварки с точки зрения его регулирования?

Лекция №7. Системы автоматической стабилизации сварочных процессов

7.1. Системы автоматического регулирования энергетических параметров дуги при сварке плавящимся электродом

Простейшие системы автоматического регулирования энергетических параметров дуги (тока и напряжения) состоят из механизма подачи электродной проволоки МП, дуги Д и питающей системы ИП – системы автоматического регулирования дуги саморегулированием (АРДС).

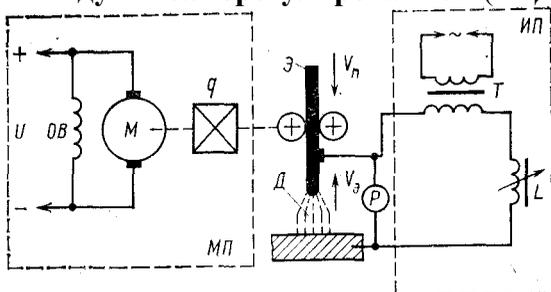


Рис. 7.1. Функциональная схема системы автоматического регулирования дуги саморегулированием.

На их основе построены автоматы и полуавтоматы с постоянной скоростью подачи электродной проволоки (трактор ТС-17 и его модификации, АБС и др.). В этих системах механизм подачи электрода МП — задающий орган, а постоянная скорость подачи электрода V — задающий параметр. С его помощью устанавливается требуемая сила тока I_3 в сварочном контуре. В процессе сварки заданная скорость подачи электрода $V_{\text{п}}$ сравнивается со скоростью его плавления V_3 . При достижении равенства $V_{\text{п}} = V_3$ в сварочном контуре устанавливается определенная сила тока $I_{\text{д}}$, которая с требуемой точностью поддерживается системой саморегулирования на уровне I_3 .

Система АРДС стабилизирует с определенной статической ошибкой сварочный ток при колебании напряжения сети. Опыты показывают, что относительная ошибка по току при дуговой сварке под флюсом при изменении напряжения на дуге от 30 до 50 В в системах АРДС не превышает 10 %.

В схему системы автоматического регулирования напряжения дуги с воздействием на скорость подачи электродной проволоки АРНД (рис. 7.2) в отличие от АРДС дополнительно входит специальное устройство (регулятор), стабилизирующее напряжение дуги путем принудительного изменения скорости подачи электрода $V_{\text{п}}$.

Скорость подачи $V_{\text{п}}$ определяется напряжением на якоре двигателя $U_{\text{дв}}$, питаемого от генератора Г. Напряжение на якоре генератора $U_{\text{Г}} = U_{\text{дв}}$ зависит от разницы магнитных потоков Φ_2 — Φ_1 , наводимых в обмотках возбуждения w_1 и w_2 генератора с протекающими по ним токами. Поток Φ_2 пропорционален $\sim U_{\text{д}}$; при его возрастании увеличиваются $U_{\text{Г}}$ и $V_{\text{п}}$.

форсированных режимах изменение вылета на 1 мм вызывает изменение сварочного тока на 10—12 А.

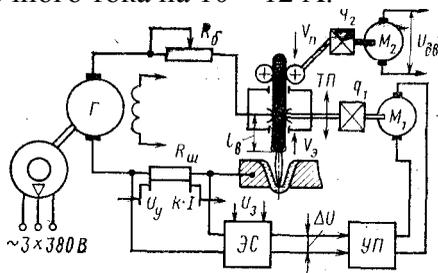


Рис. 7.3. Функциональная схема системы автоматического регулирования вылета электрода (АРВ).

Функциональная схема системы АРВ представлена на рис. 7.3. Сигнал, пропорциональный току дуги, снимается с шунта $R_{ш}$ и сравнивается в элементе сравнения ЭС с напряжением уставки U_3 . Разность ($U_y - U_3$) усиливается по напряжению и мощности усилителем-преобразователем УП и поступает на двигатель M_1 . Последний через редуктор q_1 изменяет положение токоподводящего узла ТП (вылет l_b) до тех пор, пока при действующих возмущениях напряжение $U_y = kI$, пропорциональное току дуги, не сравняется с напряжением уставки U_3 с помощью которого задается рабочий ток дуги. Для перемещения электродной проволоки со скоростью V_n служит двигатель M_2 , с редуктором q_2 .

Система автоматического регулирования тока и напряжения дуги с воздействием на питающую систему (АРП) можно разделить их на астатические (с механическим приводом) и статические (с воздействием на питающую систему через электрические параметры).

Системы автоматического регулирования питающей цепи (АРП) применяют для улучшения качества регулирования основной системы АРДС, так как она не обрабатывает возмущений, действующих на питающую систему (возмущения по напряжению сети, изменению сопротивления сварочной цепи из-за нагрева).

Системы АРП с механическим приводом в регуляторе, воздействующим на напряжение холостого хода U_{xx} сварочного трансформатора СТ через исполнительный элемент — автотрансформатор АТ (управление автотрансформатором обеспечивается двигателем M_2 и редуктором q_2); с электрическим воздействием регулятора на питающую систему, где в качестве исполнительного элемента использован дроссель насыщения ДН.

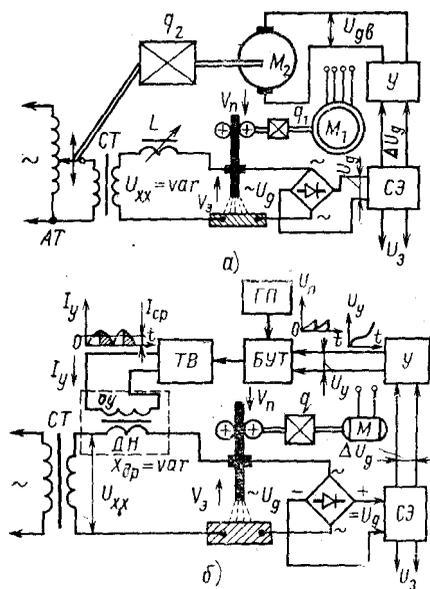


Рис. 7.4. Функциональные схемы автоматического регулирования напряжения дуги с воздействием на питающую систему (АРП):

а — с механическим приводом в регуляторе; б — с электрическим воздействием регулятора на питающую систему

Обмотка управления дросселя ДН запитана от тиристорного выпрямителя ТВ. Управление блоком ТВ выполняется по вертикальному принципу. В качестве опорного напряжения используется пилообразное напряжение $U_{п}$, вырабатываемое генератором пилы ГП. Импульсы управления

тиристорами блока ТВ формируются блоком управления БУТ путем сравнения напряжения управления U_y и опорного напряжения U_n .

В обеих схемах реализована обратная связь по напряжению дуги. В цепь обратной связи входят: выпрямитель, суммирующий элемент СЭ, где выпрямленное напряжение дуги U_d сравнивается с напряжением уставки U_3 , усилитель $У$ сигнала рассогласования $\Delta U_d = U_d - U_3$.

7.2. Системы автоматического регулирования параметров дуги при сварке неплавящимся электродом

Особенность динамических процессов в сварочном контуре с неплавящимся электродом заключается в отсутствии эффекта саморегулирования длины дуги, свойственном системам с плавящимся электродом. Кроме того, в контуре с неплавящимся электродом напряжение дуги связано определенной функциональной зависимостью с длиной дуги:

$$U_d = a + bl_d + \frac{c + dl_d}{I_{св}},$$

где U_d —напряжение дуги, l_d —длина дуги, мм; $I_{св}$ —сварочный ток, А; a , b , c , d — коэффициенты, учитывающие геометрические и физические особенности дуги

На практике используют два способа регулирования параметров дуги с неплавящимся электродом при действии возмущений в сварочном контуре: с помощью систем автоматического регулирования напряжения и длины дуги (системы типа АРНД) и с помощью автоматических регуляторов параметров питающей системы (регулятор типа АРП).

АРНД представляют собой замкнутые системы автоматического регулирования с воздействием на пространственное положение электрода относительно поверхности изделия. Функциональная схема системы АРНД (рис. 7.5) состоит из сварочного контура источник питания - дуга - сварочная ванна и внешнего регулятора. В регулятор входит суммирующий элемент 1, в котором текущее

напряжение дуги U_d сравнивается с заданным эталонным напряжением U_3 . Разность $\Delta U_d = U_3 - U_d$ усиливается в блоках 2 и 3 по напряжению и мощности.

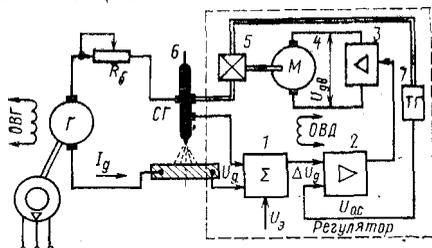


Рис. 7.5. Функциональная схема АРНД при дуговой сварке неплавящимся электродом

Усиленный по мощности сигнал питает исполнительный двигатель 4, который через редуктор 5 обеспечивает вертикальное перемещение сварочной горелки 6 до устранения рассогласования между U_d и U_3 , т. е. до $\Delta U_d = 0$.

7.3. Системы автоматического регулирования контактной сварки

В связи с кратковременностью процесса контактной сварки в одном цикле обеспечить стабилизацию параметров режима и соответственно высокое качество сварных соединений без автоматического регулирования практически невозможно. САР должна в течение короткого времени (сотых долей секунды и менее) измерить регулируемую величину, сравнивая ее с уставкой, и выдать управляющий сигнал, обеспечивающий стабилизацию различных параметров режима сварки. Современные регуляторы состоят из сложных электронных узлов, различных по устройству и выполняемым функциям.

САР процесса контактной сварки в зависимости от параметров регулирования можно разделить на две большие группы: I - САР электрических параметров режима сварки; II — САР физических параметров режима сварки.

К группе I относятся регуляторы сварочного тока $I_{св}$, мощности $P_{св}$ и энергии $W_{св}$, падения напряжения между

электродами $\Delta U_{эл}$. К группе II относятся регуляторы температуры t° околоэлектродной зоны и инфракрасного излучения, перемещения электродов $\Delta h_{эл}$ под действием теплового расширения металла, электрического сопротивления $R_{дет}$ участка цепи между электродами, частоты пульсации $\Delta f_{п}$ при стыковой сварке. Возможны системы регулирования двух и более параметров, как электрических, так и физических (комбинированные САР).

Обобщенная функциональная схема САР по отклонению регулируемого параметра приведена на рис. 7.6. В схеме имеется отрицательная обратная связь по регулируемой величине, с помощью которой обеспечивается стабилизация параметра регулирования. Каждый регулируемый параметр процесса измеряется своим измерительным устройством. Выходной сигнал измерительного устройства в виде напряжения $U_{и.у}$ подается на один из входов сумматора. На второй вход сумматора подается напряжение уставки U_0 (требуемое значение регулируемого параметра).

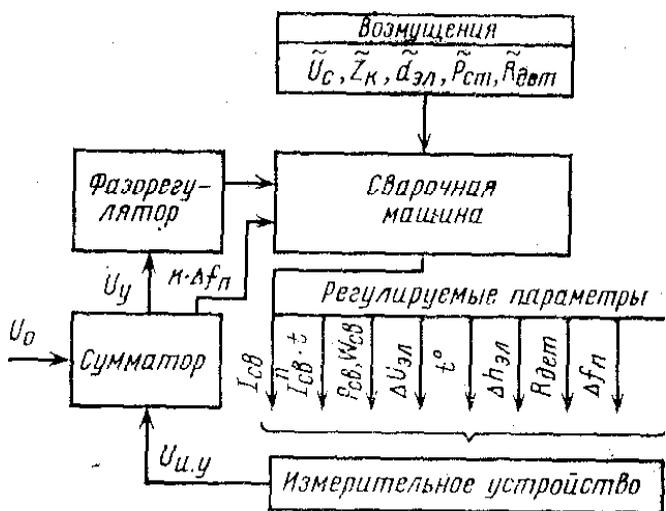


Рис. 7.6 Обобщенная функциональная схема САР контактной сварки по отклонению регулируемой величины

При действии на сварочную машину технологических возмущений по $\Delta\tilde{U}_c$ (напряжению сети), \tilde{Z}_k (сопротивлению сварочного контура), $\tilde{d}_{эл}$ (диаметру электродов), $\tilde{P}_{св}$ (усилию сжатия), $\tilde{R}_{дет}$ (сопротивлению в деталях) в процессе сварки измеренный регулируемый параметр $U_{и.у}$ отличается от напряжения уставки U_0 по этому параметру. Сигнал рассогласования U_y между $U_{и.у}$ и U_0 пропорционален регулируемому воздействию на контактную сварочную машину, с помощью которой устраняется рассогласование. При точечной и шовной контактной сварке сигнал рассогласования U_y представляет собой воздействие на фазорегулятор контактной машины. Фазорегулятор через сварочный контактор обеспечивает регулирование момента включения и выключения сварочного тока и его плавную регулировку.

При стыковой сварке оплавлением сигнал рассогласования представляет собой воздействие $k\Delta f_n$ на привод машины. Привод, воздействуя на подвижную плиту сварочной машины, регулирует момент осадки и скорость оплавления свариваемых деталей.

Регуляторы перемещения электродов под действием теплового расширения металла. В результате нагрева и расплавления металл в зоне сварки расширяется и раздвигает электроды машины. Исследованиями установлено, что между перемещением электродов и размерами зоны расплавления существует взаимосвязь, которая может быть использована при построении регулятора качества сварки. Расчеты и опыты показывают, что при отсутствии вдавливания электродов (одноосном расширении в вертикальном направлении) и нормальных размерах зоны расплавления приращение толщины деталей Δ_0 от нагрева может составить 8-10% суммарной толщины свариваемых деталей. Параметр Δ_0 вызывает перемещение ΔS подвижной головки машины, измеряемое с помощью датчика перемещения ДП и преобразованное в пропорциональное напряжение. Таким образом, можно

построить САР качества сварки по перемещению электродов сварочной машины (рис. 7.7).

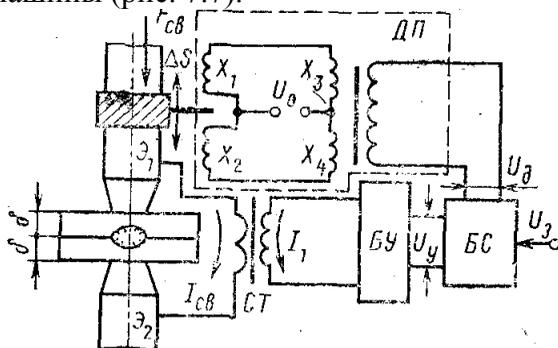


Рис. 7.7. Функциональная схема САР по перемещению электродов с индуктивным датчиком

На выходе индуктивного датчика перемещения ДП вырабатывается напряжение U_d , пропорциональное перемещению электродов ΔS . Напряжение U_d в блоке БС сравнивается с уставкой U_3 , определяющей заданное программой перемещение электродов ΔS . При рассогласовании между U_d и U_3 на выходе блока БС вырабатывается сигнал управления U_y , который воздействует на блок управления БУ, изменяя ток сварочной машины. При уменьшении U_d сварочный ток увеличивается, а при увеличении — уменьшается. При достижении фактического перемещения ΔS заданного уровня при времени $t_{св}$ ток выключается и процесс сварки прекращается.

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризуйте системы автоматического регулирования энергетических параметров дуги при сварке плавящимся электродом.
2. Опишите принцип работы САР контактной сварки.

Лекция №8. Системы программного управления

Системы программного управления сварочными процессами можно разделить на ряд групп по уровню их совершенства. Наиболее просты системы с жесткой программой и без обратных связей.

Они задают и осуществляют определенный последовательный цикл операций процесса и не содержат устройств для контроля результатов управления. Эти программы обеспечивают определенную последовательность операций включения и выключения отдельных узлов автомата. Их широко применяют в крупносерийном и массовом производствах.

На более высоком уровне стоят системы управления, изменяющие несколько параметров процесса по заранее разработанной жесткой программе уставок по этим параметрам. И в этом случае программирование из-за отсутствия информации о результатах управления не позволяет получить качественных сварных соединений при технологических возмущениях.

Наиболее перспективны в условиях действия технологических возмущений системы программного управления с обратными связями по программируемому параметрам. Обратная связь в таких системах реализуется с помощью датчиков, дающих в любой момент времени истинную информацию об изменении каждого параметра процесса. В этих системах обеспечивается режим гибкого программного управления. Они сложнее перечисленных выше систем, но обладают значительно большими возможностями в управлении процессом сварки, особенно в условиях действия случайных технологических возмущений.

8.1. Системы программного управления при дуговой сварке неплавящимся электродом

При разработке программ сварочного цикла важны выбор технологической схемы сварки, а также определение границ участков с одинаковыми параметрами режима. Это следует решать в зависимости от требований: нужно ли получить максимальную производительность, соблюсти определенный термический цикл или обеспечить выполнение процесса при минимальных изменениях режима.

Например, для кольцевого стыка труб из коррозионно-стойкой стали в широком диапазоне диаметров 40—400 мм и более, выполняемого автоматически аргодуговой сваркой за несколько проходов, можно составить типовую программу последовательности сварочных операций, представленную циклограммой на рис. 8.1.

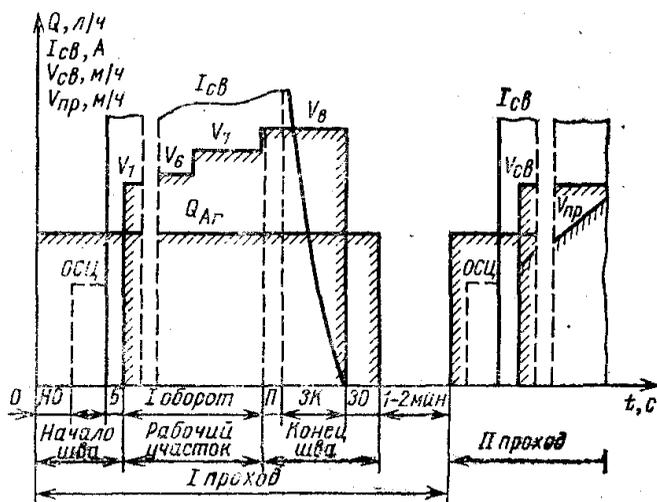


Рис. 8.1. Типовая циклограмма аргодуговой сварки неповоротного кольцевого стыка трубы

Здесь программа состоит из начального обдува НО соединения аргоном (5—10 с), включения контактора осциллятором ОСЦ и возбуждения основной дуги, обеспечивающей местный прогрев стыка (4—6 с), включения

двигателя вращения автомата, обеспечивающего требуемую скорость сварки $U_{дв}$, и наложения рабочего участка шва.

Конечная программа требует некоторого перекрытия П начала шва (8—10 с), заварки кратера ЗК, и заключительного обдува 30 стыка аргоном (10—15 с). После небольшой паузы (1—2 мин) по той же программе выполняется следующий проход шва. Подобная программа может быть применена и для прямолинейного шва.

Функциональная схема устройства, выполняющего рабочую программу аргонодуговой сварки неповоротного стыка трубы, показана на рис. 8.2.

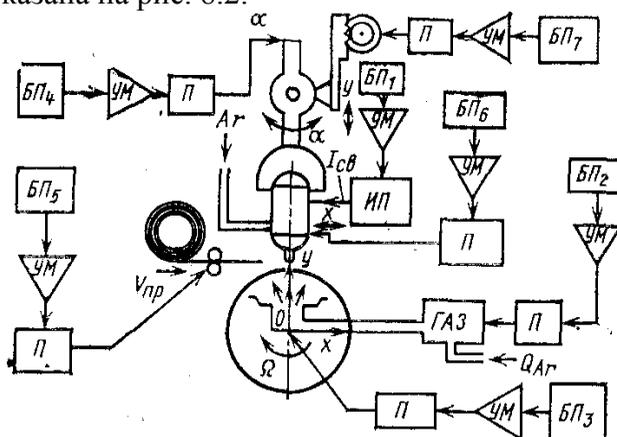


Рис. 8.2. Функциональная схема устройства, выполняющего рабочую программу аргонодуговой сварки неповоротного стыка трубы

На схеме выполнено программирование семи рабочих параметров: тока сварки $I_{св}$, давления аргона в зоне сварки P_{Ar} , частоты вращения детали Ω , угла отклонения сварочной горелки от вертикали α , скорости подачи присадочной проволоки $V_{пр}$, перемещения сварочной горелки по координатам x и y . Блоки программирования $БП_1$ — $БП_2$ перечисленных параметров можно выполнять типовыми, а в качестве элементов этих блоков применять электромеханические реле, электронные лампы, тиратроны с холодным катодом, полупроводниковые приборы и интегральные схемы.

Связь блоков программирования по каждому параметру режима сварки с соответствующими исполнительными органами, источником питания ИП, приводами П обеспечивается через типовые усилители мощности УМ. Для реализации программы во времени периметр стыка трубы разбивают на определенное число участков, причем каждому участку соответствует нужное значение параметра режима сварки, задаваемое программноносителем, например, регулируемым резистором.

Все блоки программы БП₁—БП₇ могут быть объединены в единый блок-канал информации (КИ). Задание программ и логические операции над ними в блоке КИ происходят по цепям малой мощности. Для разделения цепей малой мощности с силовыми цепями исполнительных органов используют типовые усилители мощности УМ.

8.2. Системы программного управления при дуговой сварке плавящимся электродом

Программное управление сварочным циклом при сварке флюсом. Циклограмма работы автомата для сварки под флюсом показана на рис. 8.2, а.

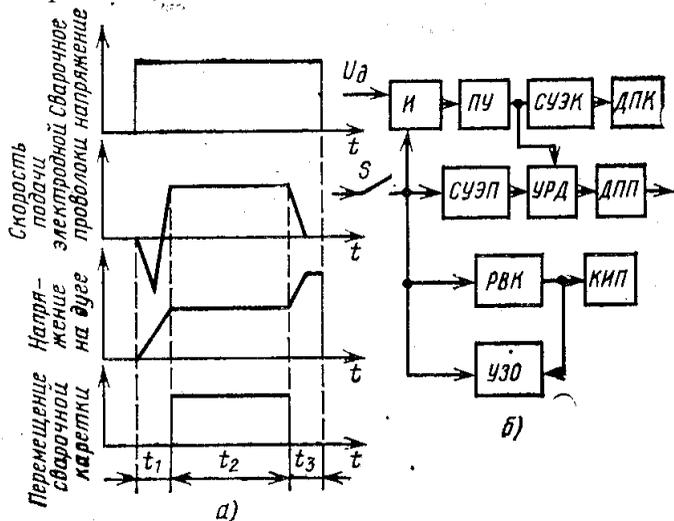


Рис. 8.3. Циклограмма работы (а) и функциональная схема (б) системы управления циклом работы автомата для сварки под флюсом электродной проволокой.

Цикл начинается с операции «Возбуждение дуги». Для надежного возбуждения дуги применяют способ отрыва конца электродной проволоки от свариваемого изделия в момент включения сварочного напряжения на автомате источнике питания. Перед началом сварки конец электродной проволоки подводят к детали до получения с ней электрического контакта. При включении автомата появляется сварочное напряжение между свариваемым изделием и электродной проволокой и запускается двигатель механизма подачи, который начинает отводить конец электродной проволоки от детали, возбуждая дугу. По мере отвода конца электродной проволоки напряжение на дуге возрастает, и когда оно достигает определенной величины, двигатель реверсируется и начинает подавать электродную проволоку в зону дуги. Время этой операции на циклограмме обозначено t_1 .

После возбуждения дуги начинается операция «Сварка», во время которой в зону дуги подается электродная проволока и перемещается сварочная каретка. Длительность операции, обозначенная на циклограмме t_2 , зависит от длины шва и скорости сварки. После окончания операции «Сварка» происходит растяжка дуги, осуществляется она путем прекращения подачи электродной проволоки в зону дуги без выключения сварочного напряжения. Под действием напряжения дуга продолжает гореть, и конец электродной проволоки оплавляется, растягивая дугу до тех пор, пока она не оборвется. При обрыве дуги выключается сварочное напряжение. Время операции «Растяжка дуги» обозначено на циклограмме t_3 .

На рис. 8.3, б представлена функциональная схема системы управления циклом сварки. При замыкании выключателя S через реле включения контактора РВК включается контактор источника питания КИП, подавая

сварочное напряжение на электрод. В это же время с помощью системы управления электроприводом подачи проволоки СУЭП и устройства реверса двигателя УРД запускается двигатель подачи проволоки ДПП. Конец электродной проволоки отводится от детали, дуга возбуждается, и напряжение на ней (Уд начинает увеличиваться. Через схему совпадения И напряжение дуги подается на пороговое устройство ПУ, которое срабатывает при достижении напряжением заранее установленного значения. Сработав, пороговое устройство запускает через систему управления электроприводом каретки СУЭК двигатель перемещения каретки ДПК и с помощью устройства реверса УРД реверсирует ДПП. С этого момента начинается подача электродной проволоки в зону дуги и происходит сварка.

По окончании сварки элемент S выключают, и двигатель ДПП останавливается, прекращая подачу проволоки. Останавливается также и двигатель ДПК, так как пороговое устройство вернулось в исходное состояние из-за снятия сигнала со входа схемы И выключателем S. Контактор КИП продолжает оставаться включенным, потому что РВК снабжено устройством задержки на отпускание УЗО. Происходит растяжка дуги. По истечении времени t_3 , определяемого УЗО, реле РВК обесточивается, и контактор КИП отключает сварочное напряжение. На этом цикл работы заканчивается.

8.3. Программное управление процессами контактной сварки

В большинстве контактных машин с механизированным приводом применяют программное управление для автоматизации процесса сварки.

Примером машин с программным управлением процессом сварки могут служить серийные точечные машины с пневматическим приводом, снабженные четырехпозиционным тиристорным регулятором времени РЦС-403. В этих машинах при нажатии педальной кнопки автоматически по заданному

циклу совершается определенная последовательность операций: сжатие, сварка, проковка, пауза. При нажатой педальной кнопке, после определенной выдержки времени (пауза для перемещения детали или электродов), цикл сварки повторяется в той же последовательности.

На рис. 8.4 представлена циклограмма такого процесса. Программируемыми параметрами здесь являются длительность перечисленных операций, закон изменения давления P и сварочного тока $I_{св}$.

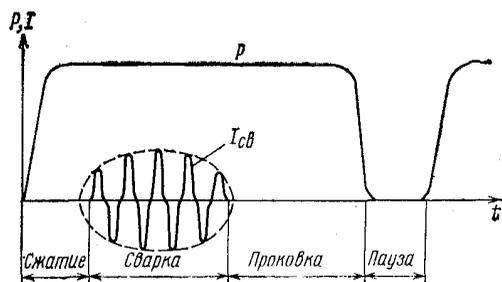


Рис. 8.4. Циклограмма процесса точечной контактной сварки.

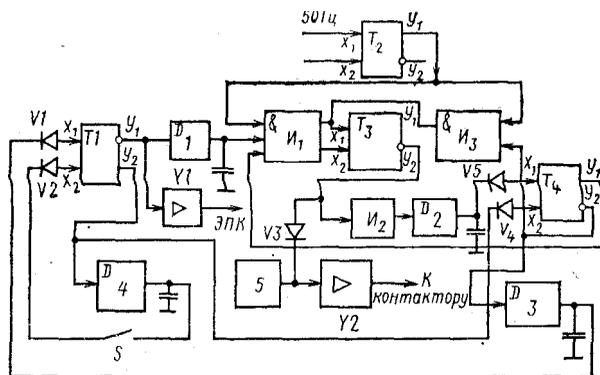


Рис. 8.5. Функциональная схема регулятора времени РЦС-403

В схеме последовательно включены четыре (1—4) элемента задержки Т-303, работающих по циклу «Сжатие», «Сварка», «Проковка», «Пауза». На операции «Сварка» возможно регулирование действующего значения сварочного

тока с помощью фазовращателя 5, в котором также используется элемент Т-303. Последний обеспечивает появление выходного сигнала с задержкой на время Δt после подачи входного сигнала. Сигнал на выходе пропадает одновременно с исчезновением входного сигнала. Выдержку времени элемента можно регулировать с помощью переменного резистора К и конденсатора С, входящих в схему элемента Т-303. Для получения синхронного включения сварочного тока и блокировки в процессе работы регулятора в схеме используют триггеры T_1 — T_4 (элементы Т-102) и схемы совпадения I_1 — I_3 (элементы Т-107, М-111). Выходными устройствами служат усилители U^{\wedge} и U_d (элементы Т-404).

После включения регулятора в сеть триггеры T_1 — T_4 занимают исходные положения. При этом на вход U_1 не поступает напряжение, через клапан ЭПК не проходит ток, и электроды машины находятся в исходном положении. Импульсы с фазовращателя 5 через диод V_3 и триггер T_3 шунтируются на общий провод и на вход U_1 не поступают. На выходе U_2 нет импульсов включения тиристоров контактора. На вход элемента задержки 4 (операция «Пауза») поступает напряжение с выхода U_2 триггера T_1 , и по окончании операции «Пауза» - оно появляется и на выходе элемента 4, но дальше через разомкнутые контакты педали не подается. На входах элементов 1—3, реализующих задержку времени на операциях «Сжатие», «Сварка», «Проковка», напряжение отсутствует. При замыкании контактов S педали напряжение элемента 4 поступает через диод V_2 на вход x_2 триггера T_1 и открывает его. При этом пропадает напряжение на входе и выходе элемента 4 и появляется напряжение на входе U_1 и на входе элемента задержки 1, обеспечивающего выдержку времени на операцию «Сжатие». Электрод опускается. Через установленный промежуток времени на выходе элемента 1 появляется напряжение, которое поступает на схему совпадения $I1$. На схему $I1$ поступает также напряжение с триггеров $T4$ и $T2$. Триггер $T2$ выдает напряжение с частотой 50 Гц, согласованное

по фазе с напряжением питания сети. Со схемы И1 напряжение с частотой 50 Гц поступает на вход x_2 триггера T_3 . Триггер T_3 срабатывает, и напряжение с его выхода y_2 поступает через схему И2 на вход элемента задержки 2, обеспечивающего выдержку времени на операцию «Сварка». Одновременно напряжение триггера T_3 закрывает диод V_3 , и на вход усилителя $У_2$ с фазовращателя 5 начинают поступать импульсы. На выходе усилителя $У_2$ формируются управляющие импульсы, открывающие тиристоры сварочного контактора. По окончании операции «Сварка» на выходе элемента задержки 2 появляется напряжение, которое через диод V_5 поступает на вход триггера T_4 . Триггер T_4 переходит в другое устойчивое положение и с его выхода поступает напряжение на схему И3 и на вход элемента задержки 3, обеспечивающего выполнение операции «Проковка». На схему И3 поступает также напряжение с триггера T_2 с частотой 50 Гц. Выходное напряжение схемы И3 перебрасывает триггер T_3 в первоначальное состояние, и диод V_3 снова шунтирует на общий провод импульсы, поступающие с фазовращателя 5. Ток сварки прекратится.

Далее, через промежуток времени, определяемый выдержкой времени на элементе 3 (операция «Проковка»), на его выходе появляется напряжение, которое через диод V_1 поступает на вход x_1 триггера T_1 и переводит его в исходное состояние. При этом снимается напряжение на входе $У_1$ и на входе элемента задержки 1 (операция «Сжатие»), электропневматический клапан (ЭПК) выключается; поднимаются электроды. На вход элемента задержки 4 (операция «Пауза») и вход триггера T_4 подается напряжение выхода y_2 триггера T_1 , элементом задержки 4 отрабатывается операция «Пауза».

По окончании этой операции напряжение с выхода элемента 4 поступает через диод V_2 на вход x_2 триггера T_1 . При этом, если контакты педали S замкнуты, то цикл сварки повторяется.

Контрольные вопросы:

1. На какие группы можно разделить системы программного управления сварочными процессами?
2. Какие системы программного управления сварочными процессами являются наиболее перспективными в условиях действия технологических возмущений?
3. Что понимается под программным управлением?

Лекция № 9 Системы пространственной ориентации рабочего органа при сварке и резке

9.1. Системы ориентации электрода по стыку при аргодуговой сварке криволинейных поверхностей

В практике сварки часто встречаются криволинейные плоские швы, например, кольцевые швы некруглой формы и продольные стыки на поверхностях вращения с криволинейной образующей в вертикальной плоскости. Для сохранения заданного режима при сварке таких профилей конец электрода должен описывать эквидистантную кривую (штриховая линия) в плоскости профиля, с тем, чтобы в любой точке сварки длина дуги поддерживалась постоянной.

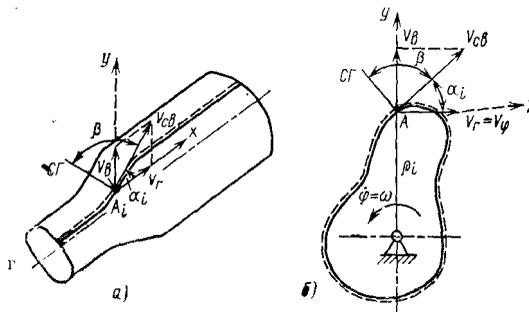


Рис. 9.1. Перемещения сварочной горелки при сварке деталей с криволинейной образующей в вертикальной плоскости:

а — неповоротных; б — поворотных.

ω — угловая скорость поворота изделия; ρ_i — радиус i -й точки контура относительно центра вращения; α_i — угол, образованный направлением вектора скорости V_r или V_ϕ и касательной в i -й точке свариваемого профиля.

Сварочная горелка должна поворачиваться в этой плоскости относительно точки сварки для сохранения заданного угла наклона электрода β к поверхности, на которой сваривается шов. При этом стабилизируются условия подачи присадочной проволоки и защиты сварочной ванны аргоном.

Скорость горизонтального перемещения сварочного инструмента V_r при сварке продольных криволинейных поверхностей или трансверсальная скорость V_ϕ при сварке кольцевых некруговых швов должна изменяться так, чтобы результирующая скорость $V_{св}$, получаемая путем геометрического сложения V_r и V_v или V_ϕ и V_v в любой точке A_i сварки была постоянной и равной заданной по режиму.

Итак, при сварке указанных профилей необходимо выполнить три условия:

$$l_d = \text{const}; \quad \beta = \text{const}; \quad V_{св} = \text{const}.$$

В общем случае соответствующие скорости должны изменяться следующим образом:

$$V_v = V_{св} \sin \alpha_i; \quad V_r = V_\phi = V_{св} \cos \alpha_i$$

Сварочный автомат АГК-1 предназначен для аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом деталей из коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов током до 300 А с применением присадочной проволоки.

В основу конструкции автомата положен принцип решения тригонометрических уравнений с помощью следящей системы, одним из элементов которой является синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ) и электронная схема автоматического регулятора длины дуги (АРНД).

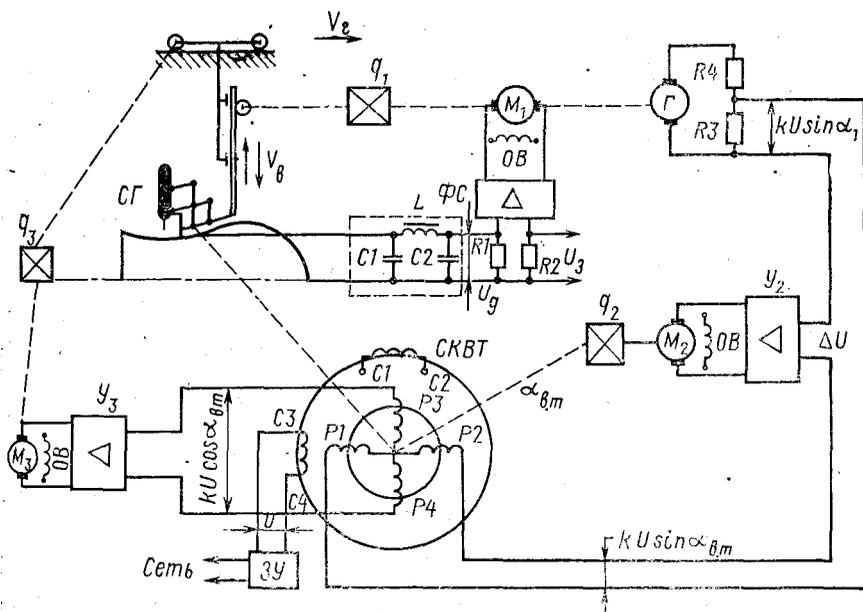


Рис. 9.2. Функциональная схема автомата АГК-1 с системой слежения за профилем детали.

Система автоматического регулирования длины дуги обеспечивает постоянство последней с помощью устройства, реагирующего на изменение напряжения сварочной дуги, которое пропорционально длине дуги. Необходимое напряжение дуги U_3 на сумматоре $R1, R2$ непрерывно сравнивается с действительным (сглаженным фильтром ΦC) напряжением U_d . Разность напряжений повышается усилителем Y_1 и подается на привод вертикального перемещения сварочной горелки CG . Двигатель M_1 этого привода в зависимости от поступающего сигнала через редуктор q_1 поднимает или опускает CG . Последняя движется до тех пор, пока разность напряжений не станет равной нулю.

При отработке разности напряжений системой автоматического регулирования длины дуги принудительно обеспечивается возвратно-поступательное движение электрода с определенной скоростью V_B , зависящей от скорости сварки и кривизны свариваемого профиля:

$$V_B = V_{CB} \sin \alpha_i$$

9.2. Системы ориентации рабочего органа при сварке криволинейного плоского стыка

Для решения данной задачи можно использовать следующие способы:

1. Применение систем цифрового программного управления с записью кривизны стыка или программы позиционного перемещения рабочего органа в цифровом коде.

2. Слежение за криволинейным стыком с помощью программирующей и обрабатывающей следящих систем, работа которых объединена между собой через запоминающее устройство (ЗУ), синхронизированное со скоростью сварки. В качестве датчика сигнала управления в программирующей следящей системе можно использовать телевизионные, фотоэлектрические или электромагнитные датчики положения стыка, работающие непосредственно по линии стыка с опережением на длине l от рабочего органа (сварочной горелки).

3. Слежение за кривизной стыка с помощью фотоэлектрического датчика, работающего по программной линии, наносимой специальными методами эквидистантно линии стыка.

4. С помощью автоматического устройства, содержащего привод разворота датчика стыка, жестко связанного со сварочной горелкой стержнем длиной l , и привод корректирующего перемещения сварочной горелки, пропорционального кривизне трактрисы линии стыка.

Решение 1-ой задачи предполагает обеспечение программного управления позиционным и контурным движением сварочного рабочего органа с использованием режима обучения при подготовке программы. Этот способ весьма перспективен при многослойной дуговой и электронно-

лучевой сварке, при массовом производстве однотипных деталей дуговой и контактной сваркой.

Системы программного управления положением или позиционного программного управления (ППУ) обеспечивают управление последовательными положениями изделия и (или) сварочного рабочего органа. Системы программного управления движением или контурного программного управления (КПУ) обеспечивают одновременное согласованное перемещение детали и (или) сварочного рабочего органа в двух и более координатах с целью изменения его положения относительно детали по любой траектории с заданной скоростью.

Системы КПУ сложнее, чем ППУ, так как в последних траектория и скорость перемещения из любого положения в последующее могут быть произвольными и не влияют на сварочный процесс. В то же время системы КПУ более универсальны и их можно применять также для управления положением, тогда как системы ППУ в общем случае невозможно использовать для управления движением, и применяют их только для управления положением.

Системы ППУ пригодны для автоматизации контактной точечной сварки, приварки выводов микромодулей к платам с печатным монтажом, сварки электрозаклепками, сварки коротких швов в разных пространственных положениях. Системы КПУ предназначены для автоматизации дуговой и электронно-лучевой сварки швов сложной формы, наплавки сложных кромок и поверхностей, а также для резки газовым пламенем, плазмой и т. д. Система цифрового программного управления движением состоит из систем подготовки и отработки программы (последняя система обычно на базе шаговых двигателей).

Наиболее распространенный метод подготовки программы для систем цифрового программного управления движением состоит из следующих операций: расчета на ЭВМ координат последовательных опорных точек траектории движения (по данным чертежа детали и технологии обработки); интерполяции

полученных данных на интерполиаторе (кодированном преобразователе), который либо входит в схему управления установкой, либо размещен отдельно.

Контрольные вопросы:

1. Каковы особенности сварки кольцевых швов некруглой формы и продольных стыков на поверхности вращения с криволинейной образующей?

2. Какие условия необходимо выполнять при сварке кольцевых швов некруглой формы и продольных стыков на поверхности вращения с криволинейной образующей?

3. Опишите принцип работы автомата с системой слежения за профилем детали.

4. Какие способы можно использовать при разработке системы ориентации рабочего органа при сварке криволинейного плоского стыка?

Лекция № 10. Кибернетические системы управления

10.1. Самонастраивающиеся и экстремальные системы

Рассмотренные системы автоматического регулирования рассчитаны на воспроизведение заблаговременно заданного закона управления сварочной машиной. Трудоемкость выбора оптимального закона управления, программы регулирования для каждого типоразмера свариваемых деталей и характеристик оборудования, необходимость перестройки аппаратуры управления с переходом к сварке других деталей создают известные неудобства при использовании простейших одноконтурных систем автоматического регулирования. Возникает необходимость разработки новых САУ, способных самостоятельно изменять свою настройку или алгоритм работы с целью оптимизации сварочного процесса, что могут обеспечить только самонастраивающиеся системы автоматического регулирования.

По своему назначению эти системы могут быть с самоизменяющимися уставкой, программой, параметрами, структурой и самообучающимися. Главное отличие систем автоматического поиска (САП) от САР состоит в том, что с помощью САП анализом состояния системы в данный момент времени невозможно определить требуемое направление изменения, приводящего систему в состояние, удовлетворяющее заданным условиям. В этих системах направление движения определяется автоматическим поиском.

Для определения этого направления необходимо контролировать изменения регулирующего воздействия v , если они имеются в системе, или даже специально их вводить и анализировать изменение регулируемой величины φ , являющееся следствием изменения v . Сравнением величин или знаков приращений v и φ можно привести систему в требуемое состояние. При этом зависимость $v = f(\varphi)$ должна иметь экстремум в точке, соответствующей оптимальному режиму или близкой к нему.

Программа работы системы автоматического регулирования с самоизменяющейся уставкой и программой для контактной сварки оплавлением содержит совокупность всех основных параметров режима стыковой сварки, а оптимальные значения выбираются автоматически в зависимости от конкретных условий: толщины деталей, состояния их поверхности, сопротивления сварочного контура и т. д. В схему регулирования вводятся датчики, измеряющие указанные величины, и в зависимости от результатов измерений система автоматически выбирает оптимальный режим сварки. Система по экстремальной зависимости осуществляет автоматический поиск оптимальной скорости $V_{п.э}$ перемещения подвижной плиты машины, соответствующей максимуму средней частоты пульсаций сварочного тока $f_{п}$. При максимуме $f_{п}$ достигается оптимальный режим сварки. Если $V_{п} < V_{п.э}$, процесс оплавления протекает неустойчиво и может оборваться. Когда $V_{п} > V_{п.э}$

частота пульсаций f_n уменьшается, и процесс оплавления переходит в короткое замыкание.

Функциональная схема самонастраивающейся системы регулирования процесса стыковой сварки оплавлением показана на рис. 10.1.

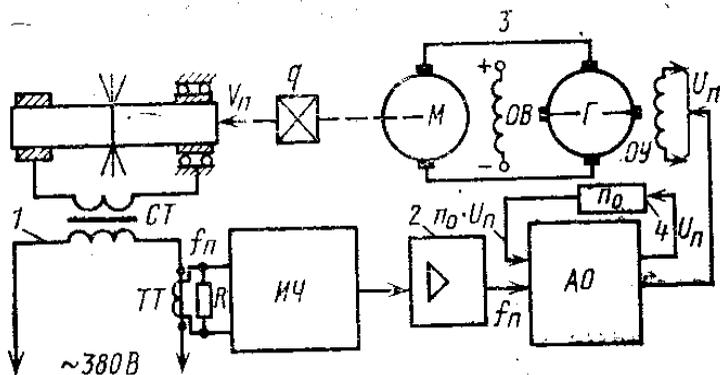


Рис. 10.1. Функциональная схема самонастраивающейся системы регулирования процесса стыковой сварки оплавлением

С трансформатора тока ТТ, нагруженного на резистор R и включенного в первичную цепь 1 сварочной машины, сигнал поступает в измеритель частоты ИЧ пульсаций сварочного тока, с выхода которого снимается постоянное напряжение, пропорциональное частоте пульсаций сварочного тока. В дальнейшем это напряжение усиливается в блоке 2 и подается на вход автоматического оптимизатора АО, который, воздействуя на привод 3 стыковой машины, изменяет скорость оплавления и выводит систему на заданный режим работы.

10.2. Промышленные роботы в сварке

Полная автоматизация сварки требует, чтобы сварочный автомат управлял одновременно как режимом, так и пространственным положением инструмента. К автоматам такого типа относится промышленный робот - автоматическое устройство с программным управлением, оборудованное рабочим органом—рукой с тремя—шестью степенями свободы,

обладающее памятью, специальной системой обучения, способное быстро перенастраиваться на очередной цикл операций и допускающее объединение с другими роботами в группу, управляемую одной центральной ЭВМ.

Конструктивно промышленный робот является комплексным устройством, в котором в сложной взаимосвязи сочетаются механические, электрические и электронные информационные элементы и устройства. Он состоит из механической части, системы управления и силового оборудования. Назначение механической части — обеспечить перемещения рабочего органа с нагрузкой. Механическая часть представляет собой манипулятор, имеющий несколько степеней свободы, прикрепленный на неподвижном основании. Манипулятор состоит из независимо перемещающихся механизмов — исполнительных органов, каждый из которых снабжен собственным приводом перемещения рабочего органа, получающим питание от силового блока робота.

Привод по каждой из координат робота обеспечивает силовое воздействие на соответствующий исполнительный механизм, позволяя реализовать заданное перемещение.

Устройство управления имеет несколько функций. Его основные задачи — управлять автоматическим действием робота, обеспечивать связь с обслуживаемым оборудованием и программировать при обучении.

В режиме автоматической работы устройство управления выдает командные сигналы на систему приводов робота, извлекая для этого информацию из запоминающего устройства в заданной последовательности и перерабатывая ее. При этом последовательность действий может определяться как внутренними командами блока синхронизации, так и внешними сигналами, поступающими от технологического оборудования.

В режиме обучения сигналы на систему приводов подаются оператором, производящим обучение и управляющим роботом вручную; одновременно информация о положении рабочего органа поступает в запоминающее устройство для

записи. Управление ведется, как правило, с выносного пульта, располагаемого возле объекта обработки, что позволяет программировать процесс с меньшими погрешностями.

Перемещения сварочного органа человеком и промышленным роботом различны, так как различны их возможности. Для получения точечного шва односточечной подвесной машиной сварщик перемещает автоматически работающие клещи вдоль линии шва с некоторой средней скоростью рывками, не выдерживая строго расстояния между свариваемыми точками, прерывая движение при сжатии клещей.

Промышленный робот, выполняя ту же операцию, последовательно перемещает сварочные клещи от точки к точке с заданной постоянной скоростью, останавливая их в заданной позиции до начала сжатия электродов. В данном случае движения робота менее целесообразны. Однако разброс и пропуски сварных точек, допускаемые при сварке вручную, вынуждают предусматривать большее число сварных точек, с тем чтобы была выдержана требуемая прочность сварного соединения. Строгое позиционирование точек промышленным роботом позволяет обойтись меньшим числом сварных точек.

Промышленный робот для автоматизации контактной точечной сварки. Цикл контактной точечной сварки делят на две группы процессов: собственно сварка, выполняемая во время сжатия электродов, и вспомогательные операции, заключающиеся в транспортировке клещей или объекта обработки. Промышленный робот предназначен для автоматизации вспомогательных операций. Можно выделить три случая использования промышленного робота для контактной точечной сварки:

1) загрузка и разгрузка специализированной сварочной машины, рассчитанной на определенный тип изделия; здесь робот устанавливает заготовку в машину, а после сварки вынимает ее и заменяет следующей;

2) обслуживание стационарной сварочной машины, которое состоит в том, что робот подает очередную деталь,

располагает ее надлежащим образом, включает машину, перемещает деталь и убирает ее;

3) сварка с помощью автоматически работающих сварочных клещей, укрепленных на конце руки робота.

Контрольные вопросы:

1. Что такое самонастраивающиеся системы?
2. Опишите принцип работы самонастраивающейся системы регулирования процесса стыковой сварки оплавлением.
3. Что такое промышленный робот?
4. В каких случаях применяются промышленные роботы при контактной сварке?

ЛИТЕРАТУРА

1. Львов Н.С., Гладков Э.А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. М.: Машиностроение, 1982. 302с.
2. Львов Н.С. Автоматизация контроля и регулирования сварочных процессов. М.: Машиностроение, 1973. 127с.
3. Гладков Э.А. Автоматизация сварочных процессов. М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1976. 176с.
4. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М: Машиностроение, 1978. 350с.
5. Сварка и свариваемые материалы.// Технология и оборудование. Справочное издание /Под. ред. В.М. Ямпольского. В 3-хт. Т 2. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2001. 574 с.
6. Сварка и свариваемые материалы: Автоматизация. Качество. Безопасность. Справочное издание /Под. ред. В.М. Ямпольского. В 3-хт. Т 3. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2002. 532 с.
7. www.svarka.ru
8. www.promsvarka.com

9. www.paton.kiev.ua

Содержание	
Введение	3
Лекция №1. Основы теории автоматического регулирования и управления сварочными процессами.....	4
1.1. Общая характеристика объекта регулирования и управления.....	4
1.2. Системы автоматики.....	5
1.3. Автоматическое регулирование.....	7
1.4. Регулирование по отклонению и по возмущению регулируемой величины.....	8
1.5. Статическое и астатическое регулирование.....	9
1.6. Прямое и косвенное регулирование.....	9
Лекция № 2. Свойства систем автоматического Регулирования.....	10
2.1. Уравнения звеньев и систем автоматического регулирования.....	10
2.2. Передаточные функции и структурные схемы.....	12
2.3. Эквивалентные преобразования структурных схем...	13
2.4. Частотные характеристики.....	14
2.5. Типовые звенья.....	14
2.6. Переходная функция.....	17
Лекция №3. Устойчивость, качество и надежность систем автоматического регулирования.....	18
3.1. Устойчивость систем.....	18
3.2. Качество систем.....	21
Лекция №4. Повышение точности и качества систем автоматического регулирования.....	23
4.1. Анализ систем автоматического регулирования.....	23

4.2. Методы улучшения точности и качества.....	24
Лекция №5. Анализ условий автоматизации.....	27
5.1. Автоматизация сварочных процессов как часть комплексной механизации и автоматизации сварочного производства.....	27
5.2. Анализ возмущающих воздействий при сварке.....	
5.3. Характеристики объектов регулирования при различных способах сварки.....	30
Лекция №6. Разомкнутые системы автоматического Управления.....	34
6.1. Системы управления сварочными источниками питания дуги.....	34
6.2. Системы управления параметрами процесса при контактной сварке.....	39
Лекция №7. Системы автоматической стабилизации сварочных процессов.....	41
7.1. Системы автоматического регулирования энергетических параметров дуги при сварке плавящимся электродом...41	
7.2. Системы автоматического регулирования параметров дуги при сварке неплавящимся электродом.....	46
7.3. Системы автоматического регулирования контактной сварки.....	47
Лекция №8. Системы программного управления.....	50
8.1. Системы программного управления при дуговой сварке неплавящимся электродом.....	51

8.2. Системы программного управления при дуговой сварке плавящимся электродом.....	53
8.3. Программное управление процессами контактной сварки.....	55
Лекция № 9 Системы пространственной ориентации рабочего органа при сварке и резке.....	58
9.1. Системы ориентации электрода по стыку при аргонодуговой сварке криволинейных поверхностей.....	58
9.2. Системы ориентации рабочего органа при сварке криволинейного плоского стыка.....	61
Лекция № 10. Кибернетические системы управления.....	63
10.1. Самонастраивающиеся и экстремальные системы.....	63
10.2. Промышленные роботы в сварке.....	65
ЛИТЕРАТУРА.....	67

Редактор: Ахметжанова Г.М.