

М 129523
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

В. В. ЛАВРЕНТЬЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ
РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВОК
ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ
НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ
С АВТОМАТИЧЕСКИМ РЕГУЛЯТОРОМ
НАПРЯЖЕНИЯ ДУГИ

(05.167 — Машины и технология сварочного производства)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Научный руководитель — кандидат технических наук,
доцент Л. Е. Алекин.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Г. М. Каспржак;
кандидат технических наук, доцент Э. А. Гладков.

Ведущее предприятие — НИКИМТ — научно-исследова-
тельский и конструкторский институт монтажной технологии
г. Москва.

Автореферат разослан « . . . » 197 г.

Защита диссертации состоится « . . . » 197 г.

на заседании Специализированного Совета «Машины и тех-
нология» с участием представителей Московского ордена
Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего тех-
нического училища имени Н. Э. Баумана, г. Москва, 1-й
курс.

Ваши предложения и замечания просьба вы-
сылать по адресу:

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учи-
лища.

Учен

М179523

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное развитие прогрессивных механизированных и автоматизированных способов сварки, к которым следует отнести и сварку в защитных газах, требует совершенствования существующего и разработки нового высокопроизводительного сварочного оборудования.

В настоящее время при автоматической аргоно-дуговой сварке ответственных изделий широко применяются сварочные установки с автоматическими регуляторами напряжения дуги (АРНД) непрерывного или релейного действия. Задачи анализе свойств различных систем регулирования дуги решены в работах Б.Е.Патона, Г.М.Каспржана, И.Я.Рабиновича и др. авторов. Вопросы синтеза исследованы значительно меньше. Это в известной степени затрудняет выбор оптимальных параметров систем Источник-Автомат-Дуга-Шов с АРНД при проектировании установок для сварки неплавящимся электродом в аргоне, обеспечивающих заданное качество сварного соединения несмотря на воздействие характерных возмущений в реальных производственных условиях. В то же время при проектировании вопросы синтеза имеют определяющее значение.

Основоположающими работами, в которых впервые поставлены и решены для определенного частного случая задачи синтеза дуговых автоматов, являются работы Г.М.Каспржана. Однако инженерной методики проектирования дуговых автоматов типа АРНД для сварки неплавящимся электродом с учетом воздействия всех реально-возможных возмущений в настоящее время не существует.

В процессе сварки источник питания дуги, автомат, механизм перемещения изделия совместно с дугой и швом образуют замкнутую систему И-А-Д-Ш, в которой главным объектом регулирования является сварной шов. Поэтому качество сварного соединения будет зависеть от параметров всех звеньев системы и возмущающих воздействий, имеющих место в производственных условиях.

Созданию обобщенной методики проектного расчета дуговых автоматов типа АРНД непрерывного или релейного действия для сварки неплавящимся электродом, базирующейся на допустимые отклонения параметров сварного шва и учитывающей статические и динамические свойства всех реальных органов системы И-А-Д-Ш, характер технологического процесса, режим сварки, а также величину и характер всех реально возможных возмущений, и посвящена данная работа.

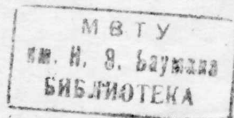
НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1179523

Лаврентьев В.В. Исследования

СТАЛЬНАЯ



ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Возможность получения высококачественных сварных соединений при использовании дуговых автоматов, укомплектованных АРНД, предопределили определенное внимание к разработке регуляторов напряжения дуги. В связи с чем у нас и за рубежом разработаны равнообразные АРНД непрерывного и релейного действия, предназначенные для сварки различных металлов и сплавов.

Однако следует отметить, что проектирование регуляторов типа АРНД в подавляющем большинстве случаев ведется без количественного учета свойств сварного шва, параметров источника питания дуги и механизма перемещения изделия, вольтамперных и регулировочных характеристик дуги. По существу усилия авторов разработок сводятся к изысканию наиболее приемлемых с точки зрения конкретных условий схем регуляторов и выбору технических средств для реализации отдельных узлов с целью повышения надежности работы автомата. Не отрицая необходимости и важности перечисленных направлений исследований, вместе с тем следует указать на отсутствие единой методики расчета основных параметров сварочных установок с АРНД, учитывающей свойства всех звеньев системы И-А-Д-Ш. Научно-обоснованное решение этого вопроса может быть дано только в том случае, если рассматривать систему И-А-Д-Ш как замкнутую систему, одно из звеньев которой - АРНД способствует получению качественного сварного соединения. Наличие естественной обратной связи по скрытой составляющей длины дуги делает систему И-А-Д-Ш естественно замкнутой, но методики проектирования замкнутых систем И-А-Д-Ш с учетом специфических особенностей работы АРНД в процессе сварки ни в литературе, ни в проектирующих организациях обнаружить не удалось.

На практике исходными данными при проектировании АРНД как изолированного звена в большинстве случаев являются точность поддержания напряжения дуги - ΔU_d и скорость отработки регулятора - $V_{от}$, которые назначаются без какой-либо количественной связи с допустимыми отклонениями параметров сварного шва и ожидаемым характером возмущений. Возможность изготовления лабораторного макета в натуральную величину, в котором подбирается величина коэффициента усиления усилителя для обеспечения заданной величины ΔU_d , приводит к тому, что при лабораторных испытаниях, когда

отсутствуют реальные возмущения, спроектированный таким образом регулятор обеспечивает предъявляемые к нему требования по точности регулирования напряжения дуги. Однако это не является гарантией обеспечения требуемого качества сварного соединения при воздействии возмущений в производственных условиях, так как эти возмущения при проектировании не учитывались. Такими возмущениями являются возмущения по длине дуги, напряжению сети и скорости сварки.

Таким образом, основные параметры АРНД — мощность двигателя, передаточное число редуктора, коэффициент усиления усилителя, оказываются вне какой-либо связи друг с другом, не говоря уже о параметрах других звеньев, входящих в систему И-А-Д-Ш. Учитывая сказанное, можно констатировать, что в настоящее время не существует инженерной методики расчета сварочных установок с АРНД для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом.

В задачу исследований входило:

1. Разработка технологически обоснованного ТЗ на проектирование сварочных установок с АРНД непрерывного или релейного действия с учетом реально-действующих возмущений. 2. Анализ существующих и разработка новых методик определения параметров сварного шва и сварочной дуги в аргоне. 3. Качественный и количественный анализ возмущений. 4. Разработка методики проектного расчета основных параметров установок с АРНД непрерывного действия с учетом наиболее характерных возмущений по длине дуги, напряжению сети и скорости сварки. 5. Исследование влияния нелинейных вольт-амперных и регулировочных характеристик дуги в аргоне на качество регулирования автомата. 6. Разработка основ проектного расчета АРНД релейного действия с учетом одновременного воздействия наиболее характерных возмущений по длине дуги.

ГЛАВА II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ.

Техническое задание на проектирование И-А-Д-Ш должно содержать исходные данные для расчета качества регулирования по шву, которое в первую очередь определяется TV на готовое сварное соединение, а также свойствами электрической дуги как объекта непосредственного регулирования в автоматах типа АРНД.

Расчет основных параметров сварочных установок с АРНД произ-

водится по структурной схеме, на которой представлены в виде единой замкнутой системы сварной шов как главный объект регулирования, сварочная дуга, источник питания дуги и АРЧД. На структурной схеме показаны также наиболее характерные возмущения по длине - δl и напряжению дуги - δU_d , напряжению сети - δU_c и скорости сварки - δv_c .

Исходными величинами для проектного расчета являются параметры сварного шва и сварочной дуги в аргоне, а также величины и характер возмущений.

Определение параметров главного объекта регулирования - сварного шва

Статические свойства сварного шва характеризуются величинами передаточных коэффициентов по шву, которые могут быть определены, если известны функциональные зависимости регулируемых параметров шва от энергетических параметров режима сварки - I_d , U_d , V_c . В работе в качестве регулируемых параметров приняты геометрические размеры шва - ГРШ, которые назначаются исходя из прочности, коррозионной стойкости, склонностью к образованию трещин и т.д.

Экспериментальным путем определены зависимости ГРШ от I_d , U_d , V_c при сварке встык, на весу листовых конструкций из стали IX18N9T толщиной 1мм. В точке номинального режима определены величины передаточных коэффициентов по шву - $K_{гн}$, $K_{гт}$, $K_{гсс}$ и т.д.

Для количественной оценки влияния естественной обратной связи от глубины провара к длине дуги, отражающей заглублине дуги в металл, были поставлены эксперименты по определению коэффициента $K_{дг}$. Установлено, что величина $K_{дг}$ не равна единице, как это было принято ранее, и для данного случая равна 1,8.

С целью исключения влияния естественной обратной связи на точность определения постоянной времени проплавления металла - T_n при ступенчатом изменении тока дуги были поставлены эксперименты по определению T_n при гармоническом возмущении по длине дуги. Сравнение результатов испытаний показало целесообразность использования в производственных условиях упрощенной методики определения T_n при ступенчатом возмущении по току дуги, предложенной Н.А.Ильенко. Получены данные о величинах T_n для стали IX18N9T различных толщин.

Определение параметров объекта непосредственного регулирования - сварочной дуги

Сварочная дуга как объект регулирования в АРНД характеризуется ВАХ и регулировочной характеристикой, которые определяются экспериментальным путем. ВАХ снимается вблизи точки номинального режима.

С целью упрощения оборудования и техники проведения эксперимента предложен новый способ определения регулировочной характеристики $U_d = f(I_d)$. На указанных характеристиках в точке номинального режима определяются коэффициент $K_{ат}$, характеризующий наклон ВАХ, градиент потенциала столба дуги - K_d , а также величине напряжения, соответствующая началу нелинейного участка регулировочной характеристики - $U_{на}$.

Величины и характер возмущающих воздействий

Характерными возмущениями для системы И-А-Д-Ш, вызывающими отклонения параметров шва, являются возмущения по длине дуги - l_d , напряжению сети - U_c и скорости сверки - v_c .

Возмущение может быть ступенчатым, линейным скоростным и случайным. В производственных условиях все три вида возмущений имеют место при возмущениях по длине дуги. На основании статистических расчетов по определению ошибок регулирования предложено заменять случайные возмущения по длине дуги гармоническими, параметры которых - частота ω и амплитуда l_d , определяются по разработанной методике и зависят от условий реального процесса сверки и свойств сварного шва. Такое допущение позволяет избежать громоздких вычислений вероятностных характеристик случайных возмущений для каждого технологического случая и дает возможность получить в явном виде количественную связь между качеством регулирования по шву, величинами и характером всех возмущений по длине дуги и параметрами звеньев, входящих в систему И-А-Д-Ш.

Для возмущений U_c и v_c в качестве характерных приняты ступенчатые изменения.

ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК С АРНД НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ.

Под проектным расчетом понимается решение ряда инженерных задач, конечной целью которых является обеспечение требуемого качества сварного соединения, отвечающего заданным ТУ.

В работе используется математический аппарат теории автоматического регулирования, основанный на нахождении передаточных функций по линеаризованной структурной схеме. Основанием для линеаризации является отсутствие разрывных, неоднозначных и резко изгибающихся характеристик и справедливость уравнения в течение всего интервала времени регулирования.

По структурной схеме могут быть получены установившиеся значения ошибок по любому из параметров шва для каждого из возмущений. В результате расчета определяются тип двигателя и передаточное число редуктора исполнительного механизма, параметры источника питания дуги, коэффициент усиления усилителя, жесткость механической характеристики привода скорости сварки. Разработка такой методики позволит исключить элемент случайности, неизбежный при проектировании АРНД "по опыту", сократить сроки проектирования и внедрения, существенно улучшить весь процесс разработки системы И-А-Д-Ш.

Расчет состоит в последовательном выполнении определенных этапов:

I. Связь параметров исполнительного механизма с качеством регулирования по шву. Выбор двигателя и передаточного числа редуктора .

Реальные исполнительные механизмы имеют определенные ограничения по моменту и скорости, и никакая система управления не может обеспечить требуемые момент и скорость, если они не заложены в самой конструкции исполнительного механизма.

Выбор двигателя производится по приемистости из условия обеспечения требуемых параметров перемещения сварочной головки при заданном характере возмущений по длине дуги с последующей проверкой по мощности.

Диапазон возможных передаточных чисел редуктора, при которых выбранный двигатель способен обеспечить требуемые параметры перемещения головки, определяется построением области располага-

емых моментов и скоростей (механической характеристики двигателя) и области требуемых моментов и скоростей (диаграммы нагрузки). Последняя является функцией передаточного числа редуктора. Затем определяются расчетным путем коэффициент передачи го скорости - $K_{им}$ и постоянная времени - $T_{им}$. Напряжение трогания - $U_{тр}$ устанавливается опытным путем.

2. Влияние свойств источника питания дуги на отклонение параметров шва. Выбор источника.

В зависимости от теплофизических свойств металла, его толщины, типа соединения и режима сварки на практике применяют различные источники питания. Параметры источника влияют на величину ошибки по шву и в конечном итоге предопределяют значение коэффициента усиления усилителя. Поэтому необходимо выбрать конкретный источник, статические и динамические свойства которого определяются величинами коэффициентов $K_{пс}$, $K_{тс}$ и постоянной времени $T_{пс}$.

3. Расчет коэффициента усиления усилителя АРНД.

В основу расчета коэффициента усиления - K_y по предлагаемой методике положены установившиеся ошибки регулирования по шву, которые вычисляются по передаточной функции от возмущений по длине дуги l_d к регулируемому параметру - глубине провора h_n .

Наличие естественной обратной связи через $K_{дг}$ приводит к получению достаточно громоздких расчетных выражений для определения K_y при гармоническом возмущении по длине дуги. В связи с этим возникла необходимость ввести определенные упрощения, после которых расчетное выражение для определения K_y при одновременном воздействии ступенчатого, линейного скоростного и гармонического возмущений по длине дуги принимает вид:

$$K_y = \frac{K_{гн} \cdot K_{пс} \cdot K_{тс}}{\Delta h_{но}} \left[U_{тр} + \frac{V_s \cdot t_{сд}}{K_{им}} \cdot \sin \frac{\omega l_d}{K_{им}} \sqrt{\frac{1 + \omega^2 T_{им}^2}{(1 + \omega^2 T_{пс}^2)(1 + \omega^2 T_{н}^2)}} \right] \quad (I)$$

где $\Delta h_{но}$ - допустимое отклонение глубины провора, определяемое ту на готовое сверловое соединение, α - угол наклона профиля изделия.

Упрощенное решение задачи дает возможность разработку выбрать расчетным путем основные параметры сверочной установки с АРНД таким образом, чтобы отклонения параметров шва не превышали

допустимых, а также решать задачи анализа — оценивать влияние того или иного параметра системы на качество регулирования по шву.

Сделанные упрощения приводят к появлению некоторой погрешности при вычислении ошибки регулирования от гармонического возмущения по длине дуги. В связи с чем на ЭЦВМ "Минск - 2" были выполнены расчеты по оценке вносимой погрешности для систем И-А-Д-Ш, соответствующих технологическим случаям аргоно-дуговой сварки нержавеющей сталей различных толщин. Результаты расчетов позволили сделать вывод о необходимости введения поправочного коэффициента μ перед последним слагаемым в выражении (I). Величина μ зависит от параметров звеньев и находится в диапазоне $1,0 + 1,6$.

4. Связь параметров режима сварки с качеством регулирования автомата

Номинальный режим выбирается в соответствии с разработанной технологией сварки конкретного соединения без учета ошибок регулирования, свойственных сварочным автоматам. В то же время нелинейные свойства дуги как объекта непосредственного регулирования в АРИД оказывают существенное влияние на качество его работы.

Поддержание напряжения дуги равным номинальному $U_{дн}$ может быть выполнено только в том случае, если в процессе регулирования рабочая точка находится на линейном участке регулировочной характеристики дуги, т.е. если выполняется условие:

$$U_{дн} \geq U_{нл} + \Delta U_{d_{max}}, \quad (2)$$

где $\Delta U_{d_{max}}$ — суммарная динамическая ошибка регулирования по напряжению дуги.

Получено расчетное выражение для вычисления $\Delta U_{d_{max}}$. В тех случаях, когда условие (2) не выполняется, необходимо или выбрать другой номинальный режим, увеличив $U_{дн}$, или уменьшить $\Delta U_{d_{max}}$, скорректировав значение K_y . Получены упрощенные расчетные выражения для определения нового значения K_y . Справедливость упрощений подтверждена расчетами на ЭЦВМ.

5. Влияние параметров регулятора на устойчивость системы

И-А-Д-Ш и анализ качества регулирования при ступенчатых возмущениях по длине дуги.

Необходимым условием работоспособности системы регулирования

является её устойчивость. В работе выполнен анализ устойчивости регулятора методом Рауса-Гурвица при расчетном значении параметров системы И-А-Д-Ш.

Качество работы системы регулирования в переходном процессе при ступенчатых возмущениях оценивается по переходной характеристике, основным параметром которой для сварочного процесса практически можно считать время установления - t_y , а не длительность переходного процесса - $t_{пп}$.

6. Расчет необходимой точности стабилизации по напряжению сети и коррекция номинального значения тока дуги.

Окончательный выбор источника.

Кроме возмущений по длине дуги в производственных условиях имеют место возмущения по напряжению сети - $\tilde{u}_c$, которые могут вызвать значительные отклонения глубины провара за счет изменения тока дуги. А так как система АРНД не имеет обратной связи по току, то необходимо оценить допустимую величину возмущения $\tilde{u}_{co}$ для получения качественного сварного соединения. По структурной схеме получено расчетное выражение для определения $\tilde{u}_{co}$:

$$\tilde{u}_{co} = \frac{\pm \Delta h_{no} \pm \frac{U_{rp}}{K_y} (K_{гн} + K_{пс} K_{гг})}{K_{гс} K_{гг}} \quad (3)$$

Ограниченность линейного участка характеристики $U_d = f(L_d)$ оказывает существенное влияние на качество работы автомата, если номинальный режим сварки находится на падающем участке ВАХ дуги ($K_{гг} \neq 0$). Это обусловлено тем, что при отрицательных возмущениях $\tilde{u}_{co}$ может нарушиться условие стабильной работы АРНД (2). Для устранения этого необходимо провести коррекцию тока дуги, перенести точку номинального режима вправо на величину ошибки по току дуги ΔI_d . По структурной схеме получено расчетное выражение для определения ΔI_d .

7. Связь основных характеристик привода скорости сварки с допустимой величиной возмущения по скорости сварки.

Кроме рассмотренных выше возмущений отклонение ГРШ может быть вызвано возмущениями по скорости - $\tilde{v}_c$, что достаточно характерно для сварочных автоматов. Чтобы отклонения ГРШ не были за допустимые, нужно правильно выбрать привод скорости сварки. Для этого следует определить допустимую величину возмущения $\tilde{v}_{co}$.

и по ней рассчитать жесткость механической характеристики привода - $\int_{\text{доп}}$. Получены расчетные выражения для определения указанных величин.

ГЛАВА IV. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК С АРНД РЕЛЕЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

В производстве наряду с непрерывными АРНД в равной степени применяются сварочные установки, комплектуемые регуляторами релейного действия. В настоящее время в проектных организациях не существует четкого мнения относительно преимуществ той или иной системы регулирования, что обусловлено, в частности, отсутствием методик их проектирования. По-видимому, выбор типа регулятора зависит от традиций, сложившихся в той или иной проектной организации, т.к. обе типа регуляторов имеют свои преимущества и недостатки.

Релейные системы АРНД являются существенно нелинейными, для расчета которых в данной работе применен метод фазовой плоскости. Последние разработки в области этого метода, выполненные в МАИ им.С.Орджоникидзе Емельяновым С.Д. позволили использовать его применительно к расчету релейных регуляторов напряжения дуги при совместном влиянии различных возмущений по длине дуги - ступенчатых, линейных скоростных и гармонических. В работе изложена методика расчета релейных систем АРНД, учитывающая специфические особенности сварочного процесса. В качестве примера приведены результаты расчетов, которые позволяют оценить влияние того или иного параметра регулятора-мощности двигателя, коэффициента усиления, времени запаздывания и других параметров системы на качество регулирования автомата.

Основные исходные данные для расчета изложены в ТЗ на проектирование (гл. II).

Порядок расчета следующий:

1. Выбор двигателя и определение передаточного числа редуктора производится с учетом релейного режима работы исполнительного механизма. Показано, что повышенная мощность двигателя часто является одной из причин неудовлетворительной работы регулятора в производственных условиях, что характерно для релейных систем регулирования.
2. Выбор источника питания дуги. Внешняя характеристика источника

во многом определяет необходимую точность регулирования напряжения дуги - ΔU_d , от величины которой существенно зависит стабилизация релейных регуляторов. Поэтому выбор источника следует производить с учетом свойств системы АРНД.

3. Предварительный выбор параметров релейного усилителя по допустимым отклонениям параметров сварного шва.

К параметрам усилителя относятся величина зоны нечувствительности - $\Delta U_{знч}$, суммарное время запаздывания - τ и коэффициент возврата K_g . Величина $\Delta U_{знч}$ определяется из выражения, полученного по структурной схеме:

$$\Delta U_{знч} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta h_{по}}{K_{гн} + K_{пс} K_{гт}} \quad (4)$$

Расчетное выражение показывает, что $\Delta U_{знч}$ зависит от допустимых отклонений параметров сварного шва - $\Delta h_{по}$, свойств источника питания дуги - $K_{пс}$, а также учитывает конкретный технологический процесс и режим сварки величинами коэффициентов $K_{гн}$ и $K_{гт}$. Величины τ и K_g определяются расчетным или опытным путем.

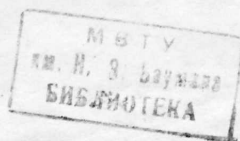
4. Построение фазовых траекторий и оценка качества регулирования автомата.

По результатам предварительного выбора параметров структурной схемы И-А-Д-Ш строятся фазовые траектории при наиболее характерных возмущениях. Методика построения изложена в работе.

Фазовая траектория при ступенчатом возмущении позволяет судить об устойчивости системы регулирования. Фазовая траектория при линейных скоростных и гармонических возмущениях характеризует работу автомата в производственных условиях.

Дальнейшие этапы расчета сварочных установок с АРНД релейного действия аналогичны этапам 4,6,7, изложенным в гл. III настоящей работы, т.к. эти этапы не затрагивают способа регулирования напряжения дуги.

Основные этапы проектного расчета систем И-А-Д-Ш с АРНД непрерывного и релейного действия проверены экспериментально при сварке стали IX18N9T толщиной 1мм. Кроме того для проверки отдельных этапов были поставлены дополнительные эксперименты по сварке нержавеющей сталей толщиной 0,4; 0,7; 0,8; 2,0; 3,0 мм.



Данные экспериментов полностью подтвердили достоверность предложенных методик расчета.

Методика проектирования сварочных установок с АРНД непрерывного действия нешла промышленное применение при разработке установок для сварки многослойных сильфонов из нержавеющей стали. Данные расчетов конкретных регуляторов и акт о внедрении методики приведены в приложении диссертации.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Проектированию сварочных установок должно предшествовать составление технологически обоснованного технического задания. ТЗ должно содержать допустимые отклонения регулируемых параметров сварного соединения, значения передаточных коэффициентов и постоянных времени главного объекта регулирования - сварного шва и объекта непосредственного регулирования - сварочной дуги, вычисленные для номинального режима, а также характер и величину реальных возмущений по длине дуги, напряжению сети и скорости сварки. Предложены инженерные методики определения этих величин.

2. Разработана методика определения и выбора основных параметров системы И-А-Д-Ш с АРНД непрерывного действия, которая учитывает все основные особенности, характерные для сварочных процессов.

3. Получены упрощенные расчетные выражения, связывающие в явном виде основные параметры системы с допустимыми по ТУ отклонениями параметров шва. Применимость этих выражений подтверждена расчетами на ЭЦВМ.

4. Показано, что удовлетворительная работа АРНД в производственных условиях возможна в том случае, если при проектировании учитываются нелинейные свойства сварочной дуги.

5. Определены требования, которым должны удовлетворять источник питания дуги и привод скорости сварки при воздействии возмущений по напряжению сети и скорости сварки.

6. Предложена методика выбора параметров релейного усилителя на основе допустимых отклонений по шву. Показана возможность учета методом фазовой плоскости совместного влияния наиболее характерных возмущений по длине дуги.

7. Результаты настоящей работы были проверены в производственных условиях на предприятии при проектировании сварочной установки с АРНД для аргоно-дуговой сварки сильфонной толщиной 0,35; 0,4 и 0,7 мм.

8. Результаты работы могут быть использованы исследователями, занимающимися вопросами автоматического регулирования процессов дуговой сварки, конструкторами - при разработке и конструировании электросварочных установок, технологами - при разработке технологического процесса автоматической аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом. Методологически настоящая работа может быть использована при разработке методов проектирования других классов сварочных автоматов.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Алекин Л.Е., Лаврентьев В.В., Расчет ошибок регулирования автоматов при характерных возмущениях по длине дуги, "Сварочное производство", № 4, 1971.
2. Алекин Л.Е., Лаврентьев В.В., Элементы синтеза сварочных установок с АРНД непрерывного действия для сварки неплавящимся электродом, "Автоматическая сварка", № 8, 1971.
3. Алекин Л.Е., Лаврентьев В.В., Выбор параметров исполнительного механизма дуговых автоматов типа АРНД, Известия вузов, "Машиностроение", № 3, 1972.
4. Алекин Л.Е., Лаврентьев В.В., Рабинович Л.В., Емельянов С.Д., Основы методики проектного расчета релейных систем регулирования типа АРНД с неплавящимся электродом, Тезисы доклада на XVI Московской НТК по итогам научных и производственных работ, 1972.
5. Алекин Л.Е., Лаврентьев В.В., Элементы синтеза дуговых автоматов типа АРНД релейного действия для сварки неплавящимся электродом, Труды МВТУ, вып.148 "Вопросы управления процессами", часть II, 1972.
6. Алекин Л.Е., Лаврентьев В.В., "К вопросу выбора методики определения постоянной времени проплавления изделия". Труды МВТУ, вып.148, "Вопросы управления процессами", часть II, 1972 г.