

1566463

На правах рукописи

КИСЕЛЕВ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ

УДК 621.791.75

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОПЛАВЛЕНИЯ
ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ ТРУБНЫХ ИЗДЕЛИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И
МАГНИТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ИСТОЧНИКА
НАГРЕВА И СВАРОЧНОЙ ВАННЫ**

Специальность 05.03.06 – Технологии и машины сварочного производства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ссыл

Москва – 2000 г.

Работа выполнена в Московском государственном техническом
университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,
член – корр. Российской инженерной академии,
лауреат Государственной премии
ГЛАДКОВ Э.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ВЕРШИНСКИЙ А.В.
кандидат технических наук, доцент
ЛАСТОВИРЯ В.Н.

Ведущее предприятие: ОАО «Московский трубный завод «ФИЛИТ»

Защита диссертации состоится « 1 » июня 2000 г. в 10 часов
на заседании диссертационного совета К 053.15.03. в Московском
государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу:
107005, Москва. 2-я Бауманская. 5.

экземпляре, заверенный печатью,

гся в библиотеке МГТУ им.

Сен 2000 года.

1566463

Гирш В.И.

Объем 1 п.л. Тираж 100 экз.
МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Продукция трубной промышленности широко используется в народном хозяйстве.

Если электросварные трубы из легированных сталей по своим механическим свойствам не уступают бесшовным, превосходя их по геометрическим размерам и обладая на 28 - 44% меньшей себестоимостью, то их коррозионная стойкость в агрессивных средах и особенно при повышенных температурах несколько уступает бесшовным трубам. Проведенные рядом научно-исследовательских институтов совместно с трубными заводами исследования показали, что путем холодной деформации суммарной величиной около 60% в сочетании с термической обработкой можно получить из сварной заготовки трубы с равномерной структурой и одинаковыми свойствами по всему поперечному сечению. Такие трубы по прочности и коррозионной стойкости мало отличаются от бесшовных. Однако рост производства, в частности, электросварных прямошовных труб из легированных коррозионно-стойких сталей (например, X18H9T, X18H10T) сдерживается низкой производительностью процесса сварки.

Одним из наиболее перспективных путей повышения производительности изготовления электросварных трубных изделий является компенсация воздействий технологических возмущений на процесс сварки с помощью адаптивных замкнутых систем управления параметрами режима с использованием микроЭВМ (АСУ ТП сварки), включающих также устройства оценки и управления качеством формообразования шва на основе энергетического и магнитного управления параметрами дуги и сварочной ванны.

Цель работы. Целью работы является стабилизация геометрических параметров сварного шва при аргодуговой сварке неплавящимся электродом на повышенных скоростях сварки трубных изделий путем компенсации действия на процесс сварки технологических возмущений различной физической природы.

Для достижения поставленной цели в процессе работы потребовалось решить следующие задачи:

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1566463

Киселев О.Н. Стабилизация

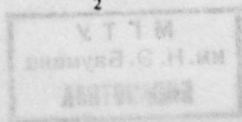


- проанализировать технологический процесс аргонодуговой сварки неплавящимся электродом трубных изделий как объект управления;
- разработать и оценить возможности измерения и эффективность использования косвенных критериев для определения влияния неконтролируемых возмущений на качество сварки;
- разработать способ устранения грата в процессе сварки трубных изделий;
- разработать способ оперативной оценки формообразования внешней стороны сварного (с учетом подреза) шва;
- построить технические средства, обеспечивающие повышение производительности и качества процесса аргонодуговой сварки трубных изделий;
- оценить эффективность разработанных технических решений.

Методы исследования. Основные задачи решались расчетными и экспериментальными методами. В работе использованы: методы системного анализа; аналитико-расчетный метод определения поля температур от распределенного объемно-эллиптического источника теплоты в плоском слое; методы теории автоматического управления и идентификации; методы магнитной электродинамики, математической физики, математической статистики и инженерной схемотехники.

Расчеты, выполненные в работе, проводились с помощью ЭВМ. Испытания опытных образцов АСУ ТП сварки труб проводились в производственных условиях на станах АДС 20-76 и 10-60 Московского трубного завода.

Научная новизна работы. 1. Разработана методика учета влияния неконтролируемых возмущений в объекте на качество сварки, заключающаяся: в измерении ширины изотермы заданной температуры в контрольном сечении поверхности трубного изделия; в измерении температуры в центре этого сечения и контролируемых параметров, определяющих тепловложение; в сравнительной оценке измеренных параметров с расчетными, полученными из уравнения теплопроводности для выбранной расчетной модели. 2. Синтезирован алгоритм и выведен закон управления технологическим процессом сварки для АСУ ТП объектом с неконтролируемыми возмущениями различной физической природы, учитывающим: а) разные знаки коэффициентов влияния на параметры



температурного поля поверхности трубного изделия и величину проплавления случайных изменений технологических параметров (мощность, распределенность, эффективный КПД) в источнике нагрева и б) изменения геометрических и теплофизических характеристик (толщина, коэффициенты теплоемкости и температуропроводности) в свариваемом металле.

3. Разработана методика оценки качества формообразования шва в процессе сварки трубных изделий по энергетическим характеристикам дуги и параметрам сварочной ванны, учитывающая гидродинамические процессы в ванне и позволяющая прогнозировать качество протекания процесса сварки.

4. Получена математическая модель (ММ) формирования шва с плоским обратным валиком при аргонодуговой сварке во внешнем квадрупольном магнитном поле (КМП).

5. Предложены технологические приемы и решения, обеспечивающие качественное формирование шва.

Практическая ценность. Разработана серия моделей АСУ ТП аргонодуговой сварки нержавеющей труб на непрерывных станах, обеспечивающих стабильное проплавление, отсутствие подрезов, минимальный грат на повышенных скоростях сварки.

Новизна разработанных АСУ ТП сварки, обеспечивающих повышение производительности и управление качеством формирования шва, подтверждена двумя авторскими свидетельствами и одним патентом Российской Федерации.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на «IX Дальневосточной научно-технической конференции по повреждениям и эксплуатационной надежности судовых конструкций» в сентябре 1984 г. в г. Владивостоке, на постоянно действующем семинаре «Повышение качества и эффективности сварочного производства на предприятиях г. Москвы» в феврале 1986 г., на научно-технической конференции «Прогрессивные технологические процессы, механизация и автоматизация ручных и трудоемких работ. Новое в сварке» в мае 1986г. в г. Устинове, на научном семинаре кафедры «Технологии сварки и диагностики» МГТУ им. Н.Э.Баумана в марте 2000 г.

Публикации. Основное содержание работы отражено в девяти статьях, двух авторских свидетельствах и одном патенте Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и результатов работы, списка использованной литературы и приложения. Она изложена на 196 листах машинописного текста, содержит 63 рисунка. Список литературы содержит 132 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность темы работы, области и методы исследований, основные положения работы, выносимые на защиту.

В первой главе, посвященной анализу технологического процесса аргодуговой сварки как объекта управления, проводится анализ процесса дуговой сварки как многокритериального объекта управления, структуры объекта управления и классификации возмущений, ММ связи геометрических характеристик сварного шва с параметрами режима и методов и средств управления формированием шва.

Объект управления, или сварочный контур включает источник питания, дугу, сварочную ванну, которые совместно образуют двухконтурную электродинамическую систему.

Анализ ММ электродинамической системы позволил найти связи геометрических параметров сварного шва с параметрами режима сварки, разработать алгоритмы автоматического управления величиной проплавления с учетом параметров распределенности источника теплоты при действии технологических возмущений на процесс сварки. Рассмотрение физических процессов в сварочной ванне позволило выявить причины образования подрезов и предложить критерий K оценки качества формирования шва, значение которого при отсутствии подрезов $K = d_T/d_C > 1$, где d_T – диаметр теплового пятна, d_C – диаметр силового пятна.

Показана эффективность сочетания с АСУ ТП энергетических и магнитных способов управления параметрами источника нагрева и ванны.

Вторая глава посвящена описанию алгоритмов стабилизации величины проплавления и оценки качества формообразования наружной поверхности шва.

В работах Лебедева В.К., Гладкова Э.А., Гуслистова И.А. был развит способ автоматического регулирования величины проплавления с воздействием на питающую систему, в котором в качестве сигнала обратной

связи используется сигнал фотодатчика, установленного с внутренней стороны свариваемого изделия, а также вариант использования математической модели по выражению

$$\kappa(J-J_0) + l(V-V_0) + m(U-U_0) = 0, \quad (1)$$

где J, V, U – текущие значения тока, скорости и напряжения сварки; J_0, V_0, U_0 – номинальные значения; κ, l, m – постоянные коэффициенты. Применение модели (1) позволило отказаться от необходимости измерения геометрических параметров сварного шва с обратной стороны изделия. Недостатками этого способа являются неучет влияния неконтролируемых возмущений и неучет зависимости коэффициентов модели от отклонений параметров режима. В работах Саса А.В., Чернова А.В., Подолы Н.В., Руденко П.М. были развиты способы автоматического регулирования глубины проплавления с компенсацией неконтролируемых возмущений по температуре, измеряемой в фиксированной точке на поверхности сварочной ванны или шва. Анализ этих способов показал, что они направлены на компенсацию неконтролируемых технологических возмущений, не существенно изменяющих коэффициент формы шва, как, например, незначительные изменения эффективного КПД процесса. Влияние возмущений другой природы, например изменение распределенности источника теплоты, приводит к неадекватному изменению тепловложения и не может быть скомпенсировано предложенными авторами способами. Это связано с неполнотой учета всей гаммы неконтролируемых возмущений и неучетом разности знаков коэффициентов влияния этих возмущений на контролируемые параметры поля температур поверхности изделия и величину проплавления.

На основе уравнения распространения теплоты от быстродвижущегося нормально-эллиптического источника в плоском слое была выполнена расчетным путем оценка влияния отдельных технологических возмущений (изменений эффективного КПД, толщины свариваемой стали D , V , коэффициента температуропроводности α , постоянной времени распределенности источника нагрева t_{01}) на размеры изотермы заданной температуры $T=T_3=800^\circ\text{C}$: ширину и длину на внешней поверхности B_T и L_T , ширину на внутренней поверхности b_T , указанных на схеме определения размеров зоны проплавления (рис. 1), где: l – выбранное на расстоянии x от

оси горелки контролируемое сечение; 2 – ось горелки; 3 – изотерма температуры проплавления; 4 – изотерма T_3 . Из расчетов следует, что изменения V, U, J, D , коэффициента объемной теплоемкости и эффективного КПД имеют одинаковые по знакам коэффициенты влияния на B_T, b_T, L_T и температуру в фиксированной точке шва. Для компенсации действия на процесс сварки всей гаммы неконтролируемых возмущений необходимо использовать информацию, как минимум, о двух параметрах поля температур поверхности изделия, ширине шва и температуре, имеющих разные по знаку коэффициенты влияния возмущений особого типа. Уровень неконтролируемых возмущений особого типа оценивается по предложенному критериальному параметру $K_{TM} = 16 \alpha (x/V + t_{01})$, выведенному из решения упомянутого уравнения теплопроводности. Этот параметр, с одной стороны, однозначно связан с возмущениями особого типа α, t_{01}, a , с другой стороны, вычисляется в соответствии с формулой (2), выведенной из того же уравнения, при условии использования непосредственно измеряемых величин: B_H – ширины изотермы, и температуры T_H в центре этого сечения [2, 3].

$$K_{TM} = B_H^2 / \ln (T_H / T_3). \quad (2)$$

Каждому значению K_{TM} соответствует при постоянной скорости сварки требуемое значение B_P ширины изотермы $T=T_3$, такое, что глубина проплавления при этом равняется толщине свариваемого материала, а ширина обратного валика соответствует необходимому минимальному запасу на неточности процесса регулирования. Автоматическое слежение за уставкой B_P обеспечивает компенсацию неконтролируемых технологических возмущений.

Выражение для закона автоматического регулирования величины тепловложения имеет вид (3) [3].

$$\Delta I = k_1 \Delta D + k_2 \Delta V - k_3 \Delta U - k_4 (B_H - B_P). \quad (3)$$

Первые три члена выражения (3) соответствуют контурам регулирования по непосредственно измеряемым возмущениям, компенсация неконтролируемых возмущений реализуется за счет введения отрицательной обратной связи по ширине изотермы B_H . Учет нестационарности коэффициентов $k_1 - k_4$ ведется путем применения адаптивного одношагового алгоритма настройки.

Для повышения производительности сварки трубных изделий и исключения подрезов оценка качества формообразования наружной поверхности шва проводилась с помощью описанного в главе 1 критерия $K=d_T/d_C$, который позволяет диагностировать качество сварки при условии оперативной оценки параметров d_T и d_C . Величина d_T равна ширине сварочной ванны и оперативно может быть оценена методом визуально-оптического панорамного контроля, который также позволяет определить геометрические размеры и площадь ванны. Методика оценки d_C приведена нами в работах [5, 6, 12] из условий нормального распределения давления по радиусу дуги. Сравнивая значения параметров d_C и d_T при глубине проплавления $H=\text{const}$ (рис. 2) судят о качестве формирования шва: есть подрез или нет.

Третья глава посвящена вопросам описания функциональных возможностей, технической реализации, а также результатам испытаний на производстве разработанной АСУ ТП сварки труб. Разработанная АСУ ТП одноступенчатой сварки в среде аргона тонкостенных прямошовных труб из аустенитной стали типа 18-8, обеспечивающая гарантированную глубину проплавления на повышенных скоростях сварки, как система управления, имеет в своем составе информационную, управляющую и исполнительную подсистемы. Основной частью информационной подсистемы являются датчики параметров процесса сварки. Полученные в главе 2 зависимости (2) и (3), определяющие собой закон автоматического регулирования величины проплавления, показывают, что для функционирования АСУ ТП нужны датчики толщины ленты, скорости сварки, изменения напряжения на дуге, сварочного тока, ширины сечения нагретого сварного шва, отстоящего на определенном расстоянии от оси горелки, температуры на поверхности этого сечения. Проведенный анализ выпускаемых отечественной промышленностью первичных преобразователей позволил выбрать оптимальные с технико-экономической и эксплуатационной точек зрения датчики, которыми и была укомплектована АСУ ТП.

Функциональная схема АСУ ТП представлена на рис. 3.

Измерительная подсистема, состоящая из датчиков 6, 7, 15, 20 и формирователей 2-5, 11, 19 сигналов, обеспечивает получение информации о шести параметрах процесса: скорости сварки, толщине ленты, токе и

напряжении дуги, температуре шва, ширине внешней поверхности трубного изделия, нагретой выше заданной температуры, равной ширине шва. Сигналы от датчиков измерительной подсистемы поступают в управляющую подсистему, которая обеспечивает сбор, обработку информации и адаптивное управление процессом сварки. Для повышения помехоустойчивости подсистемы управления в измерительных каналах установлены фильтры нижних частот.

Система управления выполнена двухуровневой, что повышает ее быстродействие и надежность работы. Верхний уровень представлен микроЭВМ, осуществляющей функции сбора и хранения информации о ходе процесса сварки, а также реализующей настройку коэффициентов закона управления в соответствии с алгоритмом адаптации. Нижний уровень подсистемы составляет аналоговое вычислительное устройство – контроллер 10, осуществляющее выработку управляющего воздействия по току в соответствии с выражением (3). Каждый канал контроллера содержит устройство задания уставки ($T_{и0}$, U_0 , V_0 , D_0), схемно совмещенное с фильтром нижних частот, и управляемый цифровым кодом делитель напряжения. ЭВМ получает информацию о ходе сварки через микропроцессорную систему сбора данных 9, конструктивно встроенную в устройство сопряжения с объектом (УСО) 16. МикроЭВМ осуществляет настройку контроллера через интерфейсный блок связи с контроллером 14.

Исполнительная подсистема представляет собой управляемый сварочный выпрямитель.

Функционирование АСУ ТП в целом обеспечивается системным и прикладным программным обеспечением. Выбор режима происходит по программе, которая организует диалог с оператором и ряд сервисных функций. Диалог с ЭВМ не требует от оператора знания языка программирования или устройства ЭВМ. Вся необходимая для оператора информация может выводиться на устройство термопечати 8 или дисплей 13 в виде таблиц, через интерфейсный блок ЦАП 17 на планшетный графопостроитель 18 в виде графиков реализаций параметров процесса или гистограмм.

АСУ ТП предлагает оператору шесть режимов работы системы: два информационных и четыре управляющих (со стабилизацией погонной

энергии, со стабилизацией ширины шва, с настройкой контроллера от ЭВМ, со стабилизацией глубины проплавления). Режим работы задается оператором с клавиатуры дисплея.

Режим с настройкой контроллера от микроЭВМ позволяет осуществить автоматическую подстройку коэффициентов регулирования путем использования одношагового алгоритма адаптации, при этом достигается наилучшее качество регулирования глубины проплавления с компенсацией действия технологических возмущений различной физической природы.

Испытания АСУ ТП показали, что скорость сварки может быть повышена не менее чем на 35% по сравнению со штатной технологией при соблюдении требований ГОСТ 11068-81.

Рассмотренная АСУ ТП сварки труб на повышенных скоростях не исключает грат и дефекты внешней формы шва в виде подрезов из-за неучтенных гидродинамических процессов в расчетной модели.

Четвертая глава посвящена вопросам разработки и испытания модифицированной АСУ ТП одноступенчатой сварки прямошовных труб, одновременно регулирующей внешнюю форму шва и проплавление на повышенных скоростях сварки.

Указанная цель достигается тем, что задают номинальные значения J_0 , V_0 , U_0 и D_0 . В процессе сварки измеряют текущие значения указанных параметров, дополнительно измеряют текущую ширину $B_{и}$ и длину $L_{и}$ сварочной ванны и ΔJ определяют по зависимости (4) [5]

$$\Delta J = K_1 \Delta V + K_2 \Delta D - K_3 \Delta U + K_4 (H_T - H_P), \quad (4)$$

где H_T – требуемое значение глубины проплавления, $H_T = D$; H_P – глубина проплавления, рассчитываемая по зависимости из работы [5]; K_1 , K_2 , K_3 , K_4 – коэффициенты, настраиваемые по вышеописанной методике. Без образования подрезов при полном проплавлении скорость сварки можно увеличить до предельного значения $V_{пр}$, определяемого выражением (5) [5],

$$V_{пр} = K_5 \frac{U^2}{B_{и}^2 \cdot D} \cdot e^{\frac{2(152,3 \cdot B_{и}^2 + 15,6)}{4 + 22,0 \cdot B_{и}^2}}, \quad (5)$$

где K_5 – постоянный коэффициент. Соответствующее этой скорости предельное значение сварочного тока определяется как нелинейная функция в работе [5].

Зависимости (4) и (5) были положены в основу построения АСУ ТП сварки труб (рис. 4), регулирующей внешнюю форму шва и проплавление на повышенных скоростях сварки.

Пятая глава посвящена решению еще одной важной производственной задачи – устранению грата с внутренней поверхности шва. Предлагается вариант двухдуговой сварки с внешним КМП на второй и обеих дугах, управляемой от АСУ ТП с воздействием на энергетические и магнитные параметры системы.

Наивысшей производительности изготовления тонкостенных трубных изделий при аргонодуговой сварке на весу можно достигнуть при раздельном решении задачи о проплавлении и формировании шва с помощью двухдугового процесса с воздействием КМП на дуги по двум схемам. Первая схема [9] предполагает проплавление стыка первой дугой без КМП на заданную глубину на скорости сварки, превышающей критическую и вызывающей образование подрезов, и переплав подрезов второй дугой, находящейся под воздействием внешнего КМП, которое создает тормозящие силы в сварочной ванне и деформирует дугу, увеличивая ширину переплава поверхности сварного шва, что обеспечивает качественную внешнюю форму шва (рис. 5). Эта схема процесса сварки грат не устраняет.

Вторая схема [10] включает в себя воздействие КМП на обе дуги, причем КМП, воздействующее на первую дугу, является регулируемым внешним магнитным полем в функции V , J , D , и измеренной ширины шва $B_{ш}$ (рис. 6). Под влиянием регулируемого внешнего магнитного поля происходит деформация дуги и анодного пятна, вследствие чего анодное пятно приобретает эллиптическую форму, а дуга изменяет колоколообразную форму на форму «метелки», вытянутой в одном направлении и сжатой в другом. Степень вытянутости дуги определяется коэффициентом сосредоточенности $K_T = \sqrt{K_{TX} \cdot K_{TY}}$ теплового потока дуги, где K_{TX} – коэффициент сосредоточенности теплового потока дуги вдоль шва; K_{TY} – коэффициент сосредоточенности теплового потока дуги поперек шва. Скрещенные электрическое и внешнее магнитное поля создают в расплаве сварочной ванны объемные электродинамические силы, направленные противоположно гравитационным силам, т.е. создают условия пониженной гравитации и позволяет предотвратить образование внутреннего грата на

повышенных скоростях сварки. Управление величиной грата осуществляется путем автоматического регулирования тока в катушках магнитной системы i_{MC} по зависимости $\Delta i_{MC} = I \Delta K_{TY}$, где $\Delta K_{TY} = K_{TYI} - K_{TYR}$ (индексы "и" и "р" обозначают измеренное и расчетное значения); I – коэффициент, настраиваемый по вышеуказанной методике. При условии $\Delta K_{TY} = 0$ система автоматического регулирования i_{MC} позволяет исключить грат полностью.

Обе схемы сварочного процесса были испытаны на стане АДС 20 – 76 при сварке труб диаметром 38 мм на повышенных (более чем в два раза) скоростях сварки. Качество сварки относительно формы шва и коррозионной стойкости полностью соответствовало ГОСТ 11068-81.

Таким образом, безгратовые электросварные трубы, будучи в 1,3–2,5 раза дешевле бесшовных, могут, по исследованиям ВНИТИ, внедряться взамен бесшовных, так как обладают эквивалентными бесшовным трубам параметрами, а также могут служить заготовкой для получения раскаткой особотонкостенных труб.

В приложении приведены технические акты внедрения разработанных АСУ ТП сварки, патент и расчет экономического эффекта.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Высокая производительность технологического процесса и необходимое качество шва при аргонодуговой сварке могут быть достигнуты: путем управления качеством формообразования шва вблизи физической границы подреза, разделяющей области качественного и дефектного формирования шва (подрезы), за счет регулирования скорости и тока сварки с учетом тепловых и силовых характеристик дуги; путем использования внешнего КМП; путем активного управления тепловложением по математической модели "тепловложение – проплавление".
2. Анализ технологического процесса аргонодуговой сварки на базе тепловой модели показал, что для компенсации отклонений контролируемых параметров режима достаточно изменять ток сварки в соответствии с принятым законом регулирования; для компенсации неконтролируемых возмущений, не изменяющих форму поперечного сечения шва, достаточно измерять температуру поверхности изделия и учитывать ее в законе управления; для компенсации действия

неконтролируемых возмущений, изменяющих коэффициент формы шва, необходимо оценивать величину критериального параметра K_{TM} , рассчитываемого по ширине изотермы заданной температуры T_3 и измеряемых V_H и T_H на поверхности выбранного поперечного сечения шва в ходе процесса сварки.

3. Нестационарность процессов тепловложения в процессе сварки требует итерационной настройки коэффициентов в законе управления в соответствии с оптимальным одношаговым алгоритмом адаптации на основе измерения значений параметров режима и ширины контролируемой изотермы.
4. Учитывая высокий уровень поля электромагнитных помех, формируемого сварочным оборудованием, для обеспечения помехоустойчивого режима работы измерительной подсистемы необходимо устанавливать фильтры нижних частот с постоянной времени 0,5 с.
5. Использование в однодуговой АСУ ТП сварки алгоритма стабилизации погонной энергии позволяет снизить коэффициент вариации погонной энергии с 6 % до 1 %, обеспечить гарантированное проплавление на повышенной не менее чем на 35 % скорости сварки и устранить избыточное значение величины тепловложения.
6. Разработана методика оценки качества формообразования шва без подрезов, которая позволяет прогнозировать условия возникновения подреза по отношению диаметров силового d_C и теплового d_T пятен. С увеличением скорости сварки при постоянстве глубины проплавления параметр d_C возрастает по экспоненте, параметр d_T растет монотонно, а зависимость глубины подреза от соотношения этих параметров d_C/d_T имеет линейный характер.
7. На базе разработанной математической модели аргонодуговой сварки в квадрупольном магнитном поле при помощи вычислительного эксперимента разработана методика управления высотой обратного валика.
8. Промышленная эксплуатация однодуговой АСУ ТП сварки в среде аргона прямошовных труб, обеспечивающая качество поверхности сварного шва при гарантированном проплавлении на повышенных скоростях сварки показала возможность повышения производительности сварки труб на

35% с получением швов с допустимой по ГОСТ 11068-81 величиной подреза. Ожидаемый экономический эффект от использования системы составит 38 тыс. руб. (в ценах 1987 г.) в год на один стан АДС.

9. Экономический эффект от использования двухдуговой АСУ ТП сварки в среде аргона прямошовных труб при увеличении скорости сварки как минимум на 35% и при обеспечении при этом проплавления и отсутствия подрезов на пяти станах составляет 138 тыс. руб в год (в ценах 1987 г.). Технические характеристики стана АДС 10-60 в комплекте с разработанной АСУ ТП сварки труб позволяет отказаться от возможной закупки иностранного оборудования при обновлении основных фондов трубного производства. Величина ожидаемого эффекта на единицу оборудования от экономии валютных средств составляет 244 тыс. руб. (в ценах 1987 г.).
10. Двухдуговая АСУ ТП сварки в среде аргона прямошовных труб, реализующая составленный на основе тепловой модели алгоритм автоматического регулирования величины проплавления, а также методику управления высотой обратного валика при сварке в квадрупольном магнитном поле обеспечивает на высоких скоростях сварки заданную глубину проплавления, отсутствие грата и подрезов.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Информационно-измерительная система технологического процесса сварки труб на станах аргонодуговой сварки / Э.А. Гладков, А.В. Сас, О.Н. Киселев и др. // Сварочное производство. – 1984. – № 2. – С. 25 – 27.
2. А.с. 1346369 (СССР). Способ автоматического регулирования глубины проплавления при сварке неплавящимся электродом / Э.А. Гладков, Н.А.Ширковский, О.Н. Киселев // Открытия. Изобретения. – 1987. – № 39.
3. Ширковский Н.А., Гладков Э.А., Киселев О.Н. Адаптивная АСУ процесса аргонодуговой сварки труб // Сварочное производство. – 1986. – №11. – С. 1–3.
4. Гладков Э.А., Ширковский Н.А., Киселев О.Н. Комплекс технических средств и оценка эффективности функционирования АСУ процесса

- аргонодуговой сварки труб // Сварочное производство. – 1986. – № 11. – С. 3 – 5.
5. А.с. 1426720 (СССР). Способ получения гарантированного проплавления при автоматической аргонодуговой сварке неплавящимся электродом / Э.А. Гладков, К.А. Садыров, О.Н. Киселев и др. // Открытия. Изобретения. – 1988. – № 36.
 6. Чернышов Г.Г., Садыров К.А., Киселев О.Н. Оценка качества формообразования стыкового шва труб по энергетическим характеристикам дуги и параметрам ванны // Сварочное производство. – 1988. – № 6. – С. 12 – 13.
 7. Григоренко В.В., Киселев О.Н., Чернышов Г.Г. Аргонодуговая сварка труб на трубосварочном стане // Сварочное производство. – 1994. – № 5. – С. 29 – 31.
 8. Григоренко В.В., Киселев О.Н., Чернышов Г.Г. Методика контроля высоты обратного валика при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом во внешнем квадрупольном магнитном поле // Сварочное производство. – 1995. – № 1. – С. 16 – 18.
 9. Киселев О.Н., Чернышов Г.Г., Гладков Э.А. Повышение производительности стана АДС при сварке прямошовных труб по двухдуговой технологии с использованием внешнего магнитного поля // Сварочное производство. – 1995. – № 2. – С. 9 – 12.
 10. Пат. 2086371 РФ, МПК 6 В 23 К 9/08. Способ двухдуговой сварки / О.Н. Киселев, В.В. Григоренко, Г.Г. Чернышов, Э.А. Гладков, А.М. Рыбачук и др. №95121960/02; Заявл. 27.12.95. // Изобретения. – 1997. – № 22.
 11. О бездефектном формировании сварного шва на повышенных скоростях при автоматической аргонодуговой сварке неплавящимся электродом тонкостенных труб / О.Н. Киселев, Г.Г. Чернышов, Э.А. Гладков и др. // Сварочное производство. – 1996. – № 7. – С. 6 – 8.
 12. Increasing pipe welding productivity. How to make arc welding processes more effective. / K.A. Sadirov, E.A. Gladkov, O.N. Kiselev et al. // The Tube & Pipe Journal – 1997 – Vol. 8, №11. – P.24 – 26.

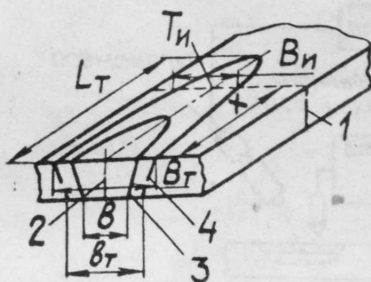


Рис. 1

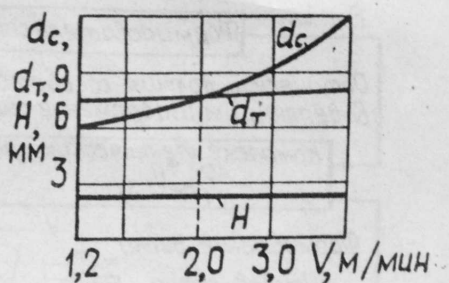


Рис. 2

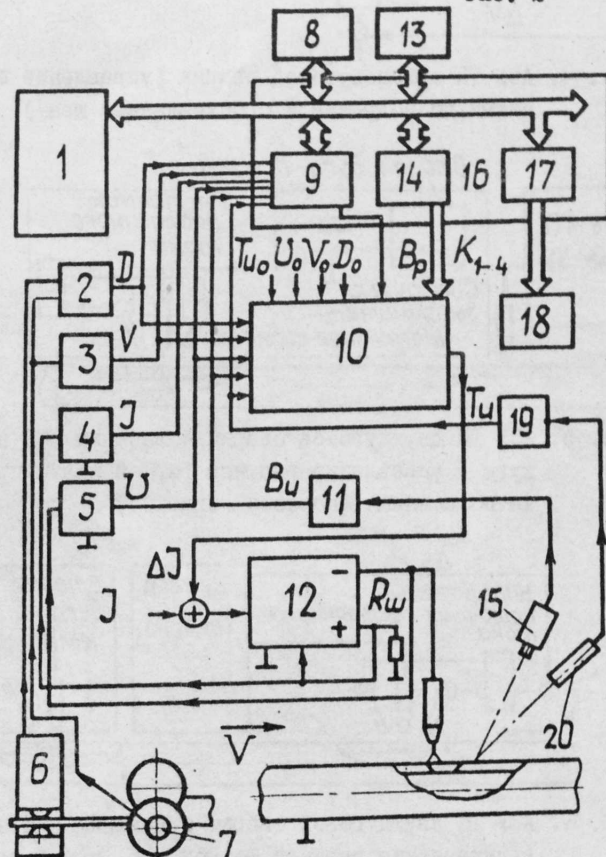


Рис. 3. Функциональная схема АСУ ТП однодугтовой сварки
(управление проплавлением шва)

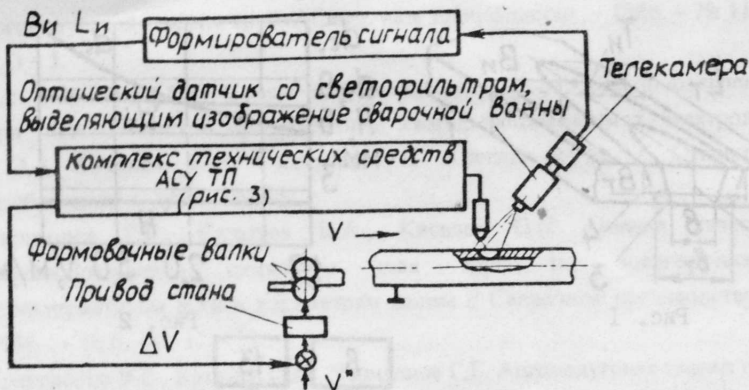


Рис. 4. АСУ ТП аргонодуговой сварки (управление с ограничениями по подрезам и проплавлением шва)



Рис. 5. АСУ ТП двухдуговой сварки с внешним КМП на второй дуге (управление внешней формой шва и проплавлением на повышенных скоростях сварки)

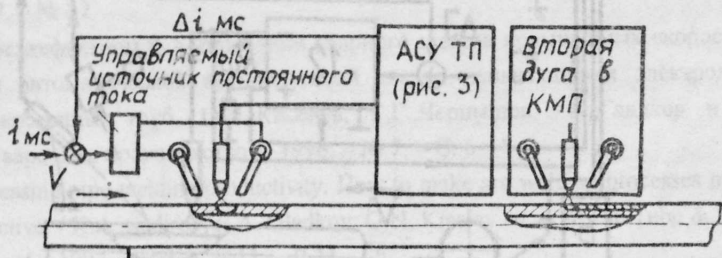


Рис. 6. АСУ ТП двухдуговой сварки с внешним КМП на двух дугах (управление внешней формой шва, проплавлением и величиной гребта в шве)