

М 266551

НЕ Н
Е

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское

ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени

высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

ИХИН Николай Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ

ОСОБЕННОСТЕЙ СВАРКИ ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ ИЗ СТАЛЕЙ

АУСТЕНИТНОГО КЛАССА ТИПА 18-8 НА ФОРСИРОВАННЫХ

РЕЖИМАХ

05.04.05 - Технология и машины сварочного производства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

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

Научный руководитель -
лауреат Ленинской премии, доктор технических наук, профес-
сор Акулов А.И.

Научный консультант -
кандидат технических наук, доцент Гладков Э.А.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, Пальчук Н.Д.
кандидат технических наук, доцент, Зорин Д.Н.

Ведущее предприятие - указано в решении Учёного Совета
МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан " " "

1975 г.

Защита диссертации состоится " " "

1975 г.

на засе-
даниях
учили-

и техноло-
гического

е училища.

, заверен-
, 107005,

ные
2-я

ИНКУРОС

M 266557

Актуальность проблемы заключается в решении ряда технико-экономических задач трубосварочного производства путем улучшения показателей качества сварных соединений и повышения производительности процесса сварки при изготовлении нержавеющей прямошовных труб из сталей аустенитного класса типа 18-8.

Целью исследования настоящей работы является нахождение принципиально новых решений в вопросах совершенствования существующих технологии и оборудования газозлектрической сварки в среде аргона неплавящимся электродом, позволяющие на базе существующего оборудования повысить качество и производительность процесса сварки.

Методы исследования. В работе использовались методы теории планирования эксперимента, современные методы изучения дуговой плазмы, основанные на фото- и кинографировании с параллельным осциллографированием, методы зондирования дуги и сварочной ванны, а также известные методы металлографического анализа, оценки коррозионных свойств и других показателей качества сварных соединений.

Научная новизна работы заключается в разработке принципиально нового методологического подхода к изучению свойств сварочного контура, как электрогидродинамической системы "ИП-Д-В", и на этой основе всестороннее исследование новых свойств системы, эффективно используемых в решении поставленных в работе задач.

Практическая ценность работы заключается в успешном внедрении её результатов в промышленность, а также возможность широкого применения их в решении ряда подобных технологических задач.

Апробация работы. Результатом работы явилась разработка параметрического регулятора глубины проплавления, который успешно внедрен на Московском трубном заводе при производстве прямошовных труб из легированных сталей аустенитного класса типа 18-8. Применение параметрического регулятора глубины проплавления позволило обеспечить высокую экономическую эффективность процесса сварки, заключающуюся в повышении качества сварных соединений труб в среднем на 28-30%, повышении производительности на 12-15%, сокращении расходы электроэнергии в 1,5 раза.

Объем работы. Работа состоит из четырех глав и выводов, содержит 177 страниц, в том числе 19 таблиц, 80 иллюстраций и библиографии 121 наименования.

ВВЕДЕНИЕ

В создании материально-технической базы коммунизма большое значение принадлежит черной металлургии. Трубная промышленность — основная и наиболее важная отрасль черной металлургии, успешное развитие и совершенствование которой позволит претворить в жизнь решения XXIV съезда КПСС.

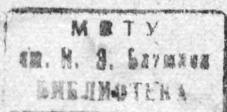
По объему производства труб СССР в настоящее время вешел на первое место в мире. Доля сварных труб в общем объеме их производства непрерывно увеличивается как в Советском Союзе, так и за рубежом. Быстрое развитие производства труб сваркой объясняется значительными технико-экономическими преимуществами этого метода.

Особое место в производстве электросварных прямошовных труб занимают трубы из легированных сталей аустенитного класса. И это не случайно, электросварные трубы из легированных сталей выпускаются толщиной от 1,5 до 3,0 мм, что позволяет экономно расходовать никелесодержащие стали. Кроме того, электросварные трубы являются заготовкой для производства особотонкостенных труб, широкое внедрение которых экономически эффективно.

Если электросварные трубы из легированных сталей аустенитного класса по своим механическим свойствам не уступают бесшовным, превосходя их по геометрическим размерам и обладая на 28-44% меньшей себестоимостью, то их эксплуатационные свойства уступают бесшовным трубам.

Исследования показали, что путем холодной деформации суммарной величиной около 60% в сочетании с термической обработкой можно получить из сварной заготовки трубы с эксплуатационными свойствами мало отличающимися от бесшовных. Однако холодная прокатка эффективна в случае, когда сварной шов имеет минимальное, стабильное проплавление на всей длине заготовки при максимальной толщине стенки /до 5,0мм/. Увеличение же толщины заготовки даже до 4,0 мм вызывает резкое ухудшение качества шва. И основными дефектами являются отсутствие стабильности геометрических размеров шва, непровары, продольные горячие трещины и др.

Наряду с этим, существующая технология сварки не позволяет повысить производительность трубосварочных станков до их проектных возможностей. При существующей технологии сварки увеличение производительности сопровождается резким ухудшением стабильности величины проплавления, увеличением процента брака от прожогов, подрезов, чрезмерного внутреннего грат, снижением коррозионной стойкости сварных соединений.



Таким образом, перед трубной промышленностью в области производства электросварных труб из легированных сталей аустенитного класса стоят две технико-экономические задачи, первая из которых связана с повышением производительности трубосварочных станков, а вторая - с улучшением качества и эксплуатационной надёжности электросварных нержавеющей труб.

Глава I. Анализ существующей технологии производства электросварных труб из сталей аустенитного класса типа 18-8 на станах АДС.

Получение качественных сварных соединений электросварных труб определяется в основном процессом сварки, стабильность которого зависит от качества предшествующих технологических операций. Однако существующая технология сварки не совершенна, следствием чего является значительное количество брака.

Все, встречающиеся в процессе производства, дефекты сварных швов нержавеющей труб в диссертационной работе классифицированы на две группы: производственные и эксплуатационные. К первой группе отнесены дефекты, существование которых обнаруживается в процессе изготовления внешним осмотром либо лабораторными исследованиями /прожоги, непровары, горячие трещины и т.д./. Ко второй группе относятся дефекты, возникающие в процессе эксплуатации, например, коррозионное растрескивание, разрыв, свищи и т.д. Эти дефекты не всегда могут быть установлены лабораторными исследованиями и, как правило, являясь локальным несовершенством сварного соединения, обнаруживают себя через определенный инкубационный период времени с момента эксплуатации.

Анализ параметров процесса сварки прямошовных труб из легированных сталей аустенитного класса в условиях Московского трубного завода показывает, что существует две группы возмущений, вызывающих появление большинства производственных дефектов. К первой группе относятся возмущения, которые легко могут быть обнаружены простыми устройствами, а их влияние скомпенсировано непосредственно в процессе сварки. К этим возмущениям относятся колебания напряжения питающей сети, скорости сварки, внешней составляющей длины дуги. Эти возмущения в работе названы контролирующими. Ко второй группе относятся возмущения, контроль за которыми ограничен либо вообще не возможен. Это прежде всего технологические возмущения, обусловленные несовер-

шенством технологии выплавки, прокатки, резки, калибровки металла ленты, результатом чего являются неоднородность химического и структурного состояния металла, изменения толщины и геометрии разделки кромок и т.д. Дифференцированный контроль этих параметров непосредственно в процессе сварки отсутствует, а их влияние на качество сварных соединений велико. Эти возмущения в работе носят название неконтролируемых или технологических.

Существует два способа борьбы с неконтролируемыми возмущениями. Первый из них основан на ужесточении допусков к химическому составу выплаиваемой стали, толщине проката, ширине ленты. Однако практическая реализация этого способа в настоящее время невозможна. Другим более реальным способом борьбы с влиянием неконтролируемых возмущений является изменение свойств сварочного контура "ИП-Д-Ш" с целью снижения его чувствительности к технологическим возмущениям. Этот способ, по нашему мнению, является в настоящее время более эффективным. Однако он требует четкой классификации возмущений, существующих в реальных условиях.

Наличие возмущений и их характер в условиях производства Московского трубного завода определялись экспериментально. Анализ реальных возмущений показывает, что из контролируемых параметров - напряжение питающей сети имеет значительные отклонения от номинального. Закон изменения напряжения питающей сети носит случайный характер и подчинен нормальному распределению. Внешняя составляющая длины дуги практически остается неизменной вследствие жесткого закрепления опорными валками кромок оформленной трубы относительно сварочной горелки. Значительного изменения скорости перемещений трубы в процессе сварки не наблюдалось, так как электропривод стана стабилизирован с помощью обратной связи по выходному параметру.

Изучение характера распределения неконтролируемых /технологических/ возмущений показывает, что такие параметры, как толщина ленты, зазор в стыке, химический состав металла являются случайными величинами. Отклонение этих параметров от номинальных подчинено закону нормального распределения.

Таким образом, экспериментально установлено, что в реальных условиях производства прямошовных труб из легированных сталей аустенитного класса определяющими качество сварного соединения являются контролируемые возмущения по напряжению питающей сети и большая группа технологических возмущений по толщине

на ленты, зезору в стыке, химической неоднородности металла и т.д.

Анализ технологии изготовления и показателей качества электросварных прямошовных труб из сталей аустенитного класса типа 18-8 показывают, что улучшение качества электросварных труб и технико-экономических показателей производства заключается в успешном теоретическом и практическом решении ряда задач, главными из которых являются: повышение стабильности геометрических размеров оварного шва; получение труб с минимальной величиной внутреннего грата и определенной формой шва; повышение коррозионной стойкости сварных соединений труб; ликвидация трещинообразования в процессе сварки.

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы явилось: совершенствование существующей технологии сварки и разработка специализированного оборудования для сварки прямошовных труб из нержавеющей сталей на форсированных режимах.

В задачи работы входило: проведение анализа существующей технологии сварки и качества сварных соединений; изыскание совершенного варианта технологии сварки на базе существующего оборудования; анализ сварочного контура "ИИ-Д-Ш" с учетом действующих на него возмущений как элемента системы автоматического регулирования; разработка рекомендаций на проектирование оборудования; изыскание перспективных вариантов технологии сварки с целью дальнейшего улучшения качества электросварных труб и повышения производительности их изготовления.

Глава II. Методологический подход к анализу свойств дуги и сварочной ванны и методики их изучения.

Анализ экспериментальных данных, полученных различными группами авторов /Хренов К.К., Кисляк Ф.П., Львов Н.С., Алекин Л.Е., *Plimling D., Jackson C.E.* и др./, показывает, что методологический подход к изучению процессов дугового разряда и его свойств у них различен. Так, большинство физиков и технологов детально исследуют характер процессов дугового разряда, но без учета статических и динамических характеристик источника питания /ИП/. Электрики и автоматчики в своих работах учитывают особенности свойств ИП, но без учета их влияния на физические и технологические процессы дугового разряда. Все это не позволяет оценить достоверность экспериментальных данных, результаты которых бывают противоречивы.

Суть предложенного нами методологического подхода в изучении свойств дугового разряда заключается в том, что дугу /Д/ предлагается рассматривать не как самостоятельный объект изучения, а как один из элементов электродинамической системы "ИП-Д", в которой причинно-следственные связи обуславливают свойства каждого из элементов системы в зависимости от свойств одного из них. Следует отметить, что существование дуги вне ИП невозможно, а, получившие в последнее время широкое распространение разнообразные по своим статическим и динамическим свойствам, ИП делают задачу исследования особенностей дугового разряда в зависимости от свойств ИП на базе нового методологического подхода актуальной. Кроме того, в работе предложено рассматривать сварочный контур не как систему "ИП-Д-Ш", а как электрогидродинамическую систему "ИП-Д-В", где вместо шва /Ш/ вводится модель жидкой сварочной ванны /В/ с её параметрами и свойствами.

Сварка, как технологический процесс, представляет собой плохо организованную /диффузную/ систему, так как в ней нельзя четко выделить отдельные явления, независимые друг от друга. Незначительные изменения одного из параметров сварочного контура приводят к сложным взаимодействиям, пренебрежение которыми может существенно сказаться на стабильности и качестве технологического процесса в целом. Для анализа процессов диффузных систем "ИП-Д", "ИП-Д-В" в работе использованы методы многомерной математической статистики, что позволяет заменить понятие закона в изучении механизма явлений на более широкое - математической модели. Для создания математических моделей в работе использованы два подхода, первый из них заключается в описании процесса дифференциальными уравнениями. Такие математические модели применены при изучении явлений, протекающих в электродинамической системе "ИП-Д". Второй подход к составлению моделей, описывающих поведение диффузных систем в виде полиномиальных моделей, использован при изучении свойств электрогидродинамической системы "ИП-Д-В".

Использование современных методов математической статистики определило следующую методику проведения исследований: 1 - на основе анализа апостериори выдвижение гипотезы, 2 - теоретическое обоснование или расчет, 3 - проведение эксперимента, 4 - обработка результатов и принятие решения.

Глава 3. Исследование физических особенностей и технологических свойств электродинамической системы "ИП-Д".

Исследование формы вольтамперной характеристики /ВАХ/ дуги.

До настоящего времени считалось, что форма ВАХ дуги не зависит от внешней статической характеристики ИП. Однако теоретического обоснования и экспериментального подтверждения этому положению в литературе нет.

В диссертационной работе теоретически и экспериментально установлено, что градиент плотности тока в сечении столба дуги при питании от ИП с жесткой характеристикой $/K_{\alpha \text{ ИП}} \rightarrow 0/$ выше, чем при ИП с вертикальной характеристикой $/K_{\alpha \text{ ИП}} \rightarrow \infty/$. Это обуславливает различие форм геометрических размеров дуг и их ВАХ /рис. 1/. Внешний вид дуги, питаемой от ИП с $K_{\alpha} \rightarrow 0$, имеет форму близкую к цилиндрической, при ИП с $K_{\alpha} \rightarrow \infty$ форма дуги близка к конусной

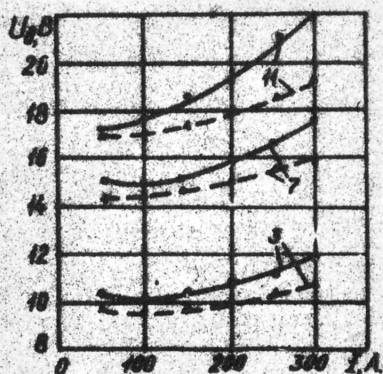


Рис. 1. Семейство ВАХ дуги:
— система "ИП-Д" с $K_{\alpha} \rightarrow 0$ /жесткая статическая характеристика ИП от генератора ПСТ - 500 с $R_0=0,006$ ом./;
- - - система "ИП-Д" с $K_{\alpha} \rightarrow \infty$ /вертикальная статическая характеристика ИП от выпрямителя ТИР-300/.

Анализ экспериментальных зависимостей показывает, что

при вертикальной характеристике ИП ВАХ дуги имеет форму близкую к жесткой в диапазоне токов от 100 до 300 А. С увеличением длины дуги и тока ВАХ дуги приобретает слабовыраженный возрастающий характер. При источнике с жесткой характеристикой семейства ВАХ дуги имеет нелинейный возрастающий характер. С увеличением длины дуги и тока наклон ВАХ дуги возрастает. Напряжение на дуге, сформированной от ИП с жесткой характеристикой выше, чем от ИП с вертикальной характеристикой. Причем, с увеличением тока эта разница увеличивается /рис. 1/.

Изучение формы ВАХ дуги традиционными методами с применением медного водоохлаждаемого анода не учитывает целого ряда физических особенностей. Для реального процесса сварки характерно существование газового потока, истекающего с плавящегося анода и состоящего из паров легко ионизирующихся газов. Поэтому нами была разработана методика определения ВАХ дуги при сварке на расплавляемом аноде. С применением этой методики установлено, что падение напряжения на дуге при наличии паровой фазы, обусловленной плавящимся анодом, меньше, чем в случае медного охлаждаемого анода. Причем, с увеличением тока эта разница увеличивается /рис. 2/.

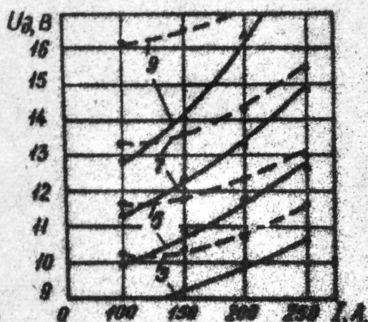


Рис. 2. Семейство ВАХ дуги:
— для случая плавящегося анода из стали IX18Ni10Т;
- - - для случая медного охлаждаемого анода.

Анализ экспериментальных зависимостей ВАХ дуги показывает, что в диапазоне токов 150 - 500 А. обеспечивается запас энергетической устойчивости дуги $/K_p > 0/$ в широком диапазоне наклонов статической характеристики III.

Однако для качественной работы системы "ИП-Д" условие обеспечения энергетической устойчивости дуги является необходимым, но ещё недостаточным признаком. В последнее время в литературе появилось понятие "пространственной устойчивости дуги". Под пространственной устойчивостью дуги подразумевается способность дуги сохранять свое первоначальное положение под действием различных возмущающих факторов. Пространственная устойчивость дуги определяет техническую устойчивость процесса сварки и, в конечном счете, стабильность величин проплавления, геометрических размеров шва и т.д. Исследованию пространственной устойчивости дуги в работе предшествовало изучение динамических характеристик дуги и системы "ИП-Д".

Исследование динамических характеристик дуги, системы "ИП-Д" и их свойств.

Установлено, что уравнение динамики дуги в операторной фор-

ме при малых отклонениях напряжения или тока имеет вид:

$$W_d(p) = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{(T_R + T_m) \cdot R_{cm} p + R_{din}}{T_m p + 1}, \quad (1)$$

где T_R - постоянная времени, учитывающая её магнитную инерционность, T_m - постоянная времени дуги, учитывающая её тепловую инерционность, R_{cm} - статическое сопротивление дуги, R_{din} - динамическое сопротивление дуги, p - оператор дифференцирования.

Экспериментально установлено, что $T_R \ll T_m$. Тогда можно постоянную времени дуги - T_d считать равной - T_m . При этом уравнение (1) принимает вид:

$$W_d(p) = \frac{R_{din} \left(\frac{R_{cm}}{R_{din}} T_d p + 1 \right)}{T_d p + 1}, \quad (2)$$

Экспериментальное изучение формы динамической характеристики показывает, что с увеличением тока её форма приближается к форме ВАХ, то есть отношение $\frac{R_{cm}}{R_{din}}$ стремится к 1, что позволяет для высокоамперной области уравнение динамики дуги аппроксимировать в рабочей точке её динамическим сопротивлением: $W_d(p) = R_{din}$.

Анализ динамических характеристик системы "ИП-Д" проводился по амплитудно-частотным характеристикам /АЧХ/ /рис. 3 а, б/, которые показывают, что угол наклона статической характеристики ИП влияет на качество процесса авторегулирования входного возмущения. Так, если система "ИП-Д" имеет ИП с $K_d \rightarrow 0$, то ошибка в случае входного возмущения вида $\Delta U_d = U_d^{max} \sin \omega t$ при низких частотах равна 0 и лишь с увеличением частоты постепенно увеличивается. При ИП с $K_d \rightarrow \infty$ ошибка существует во всем диапазоне частот.

Пространственная устойчивость дуги - обобщенная характеристика качества электродинамической системы "ИП-Д".

Теоретическое изучение пространственной устойчивости дуги осуществлялось на основе решения системы двух уравнений:

$$\left\{ L_k \frac{dI}{dt} + U_d(I, l) = U_n(I); \right. \quad (3)$$

$$\left\{ m(I, l) \frac{d^2 l}{dt^2} = f_0 - F_3 - F_k - F_n; \right. \quad (4)$$

где I - значение сварочного тока, U_d - напряжение на дуге, l - длина дуги, U_n - напряжение ИП, m - масса дуги, f_0 - возмущающая сила, F_3 - электромагнитная сила, F_k - Кариолисова сила,

F_n - сила трения анодного пятна. Первое уравнение системы отражает 2-ой закон Кирхгофа для сварочного контура. Второе уравнение описывает взаимодействие сил, действующих на дугу. Совместное решение системы уравнений /3 и 4/ позволяет провести качественный анализ устойчивости системы "ИП-Д".

Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики:

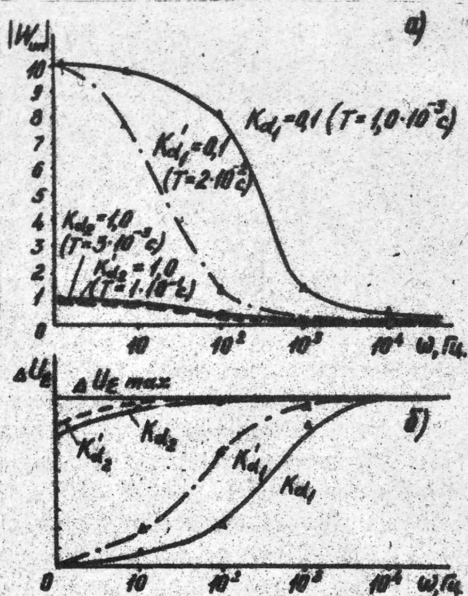
а/ для звена ИП;
б/ для системы "ИП-Д" по величине ошибки на выходе.

В случаях использования ИП как с $K_{\alpha} \rightarrow \infty$, так и с $K_{\alpha} \rightarrow 0$ система "ИП-Д" устойчива в малом. Величины изменения по $\Delta \xi$ при одном и том же значении возмущения меньше в случае ИП с $K_{\alpha} \rightarrow 0$. При больших возмущениях система "ИП-Д" с $K_{\alpha} \rightarrow 0$ становится неустойчивой, так как возникает вероятность перехода её в область энергетической неустойчивости. Однако при возмущениях, не вызывающих истощения энергетической устойчивости, система с $K_{\alpha \text{ ИП}} \rightarrow 0$ пространственно устойчива в более широком диапазоне режимов, чем система с $K_{\alpha \text{ ИП}} \rightarrow \infty$.

Скоростная киносъемка характера движения дуги с параллельным осциллографированием тока и напряжения подтверждает справедливость теоретических выводов. Запас пространственной устойчивости больше у системы, где ИП имеет $K_{\alpha} \rightarrow 0$.

Глава 4. Изучение свойств сварочного контура как электрогидродинамической системы "ИП-Д-В".

В работе установлено существование процесса саморегулирования по скрытой составляющей длины дуги, суть которого пояснена рис. 4. При сварке на расплавленном аноде со сквозным проплавлением



нием в установившемся режиме обеспечивается равновесие сил, действующих на жидкий металл ванны /рис. 4а/.

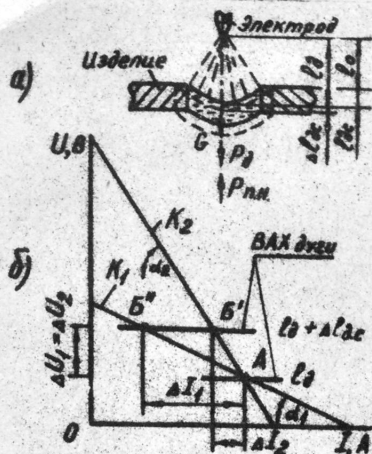


Рис. 4. Схема процесса саморегулирования по скрытой составляющей длины дуги:

а/ схема деформации ванны под действием действующих на неё сил;
б/ характер изменения рабочей точки при изменении положения ванны.

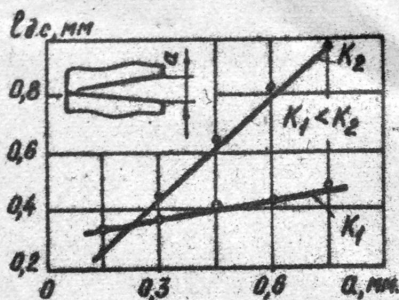
Расплавленный металл в зоне дуги под действием силы давления дуги $-P_d$ и веса $-G$ деформируется, образуя вогнутый мениск. Абсолютное значение величины про-

висания металла под дугой носит название "скрытой составляющей длины дуги" $-l_k$. При установившемся режиме общая длина дуги $-l_d$ состоит из установочной /внешней/ $-l_0$ и скрытой составляющей $-l_k$. При наличии возмущений, приводящих к изменению объема сварочной ванны происходит её деформация и изменение длины дуги $-$ за счет Δl_k . Если произошло увеличение длины дуги $/+\Delta l_k/$, то рабочая точка A /рис. 4б/, образованная пересечением ВАХ дуги и статической характеристики ИП, смещается по внешней характеристике ИП в новую рабочую точку B' . Новая рабочая точка характеризуется новыми значениями тока и напряжения на дуге.

При сварке от ИП с крутопадающей внешней статической характеристикой $/K_d \rightarrow \infty/$ изменение сварочного тока при изменении скрытой составляющей длины дуги незначительно $/\Delta I_2/$, рис. 4б/, в то время как при ИП с пологопадающей характеристикой $/K_d \rightarrow 0/$ изменение сварочного тока велико $/\Delta I_1/$, рис. 4б/. Причем, чем меньше угол наклона внешней характеристики ИП $|\alpha_1| < |\alpha_2|$, тем больше приращение по току при одном и том же изменении скрытой составляющей длины дуги $/\Delta U_1 = \Delta U_2; \Delta I_1 > \Delta I_2/$.

Экспериментально установлено, что система "ИП-Д-В", обладающая свойствами саморегулирования по скрытой составляющей длины дуги, позволяет снизить чувствительность сварочного контура к технологическим возмущениям /рис. 5/.

Рис. 5. Изменение скрытой составляющей длины дуги при действии технологического возмущения /вариация зазора в стыке/.



Стабилизация положения сварочной ванны при увеличении зазора в стыке /рис. 5/ и уменьшении толщины свариваемого металла выше для системы с ИП, имеющим жёсткую статическую характеристику. Вместе с тем эксперименты показали, что система с жёсткой статической характеристикой источника чувствительна к возмущениям по внешней составляющей длины дуги и колебаниям напряжения холостого хода.

На основе теоретических и экспериментальных исследований было разработано техническое задание на проектирование и создание параметрического регулятора глубины проплавления при сварке прямошовных труб из легированных сталей аустенитного класса типа 18-8.

Реализация параметрического регулятора глубины проплавления в виде малогабаритной тиристорной приставки к стандартному сварочному выпрямителю ВКСМ-1000 осуществлена в МВТУ им. Баумана. Успешное внедрение параметрического регулятора на стане аргоно-дуговой сварки /АДС/ труб Московского трубного завода показало, что качество труб, получаемых с применением разработанного регулятора, выше, чем при существовавшей технологии сварки. При этом, стабильность величины проплавления /внутреннего гребня/ увеличивается с уменьшением его ширины.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ качества сварных соединений труб из сталей аустенитного класса типа 18-8 показывает, что существующая технология сварки весьма чувствительна к различного рода возмущениям, вызываемым изменением как контролируемых, так и технологических /неконтролируемых/ параметров.
2. Предложено рассматривать сварочный контур, как электрогидро-

динамическую систему "ИП-Д-В", статические и динамические свойства которой существенно зависят от параметров источника питания.

3. На базе анализа статических и динамических свойств аргоновой дуги с W -электродом при питании её от источников с различным наклоном внешней статической характеристики установлено, что а/ наклон внешней статической характеристики ИП влияет на форму дуги и её ВАХ;

б/ методически более правильно снимать ВАХ дуги при вариации напряжения холостого хода ИП и неизменном наклоне его внешней статической характеристики;

в/ при наличии паровой фазы, характерной для реального процесса сварки на расплавляемом аноде, напряжение на дуге падает и ВАХ дуги в диапазоне токов 100-400 А. приобретает ярковыраженный возрастающий характер;

г/ форма динамической характеристики дуги в высокоамперной области приближается к форме статической ВАХ дуги.

4. Для устойчивости электродинамической системы "ИП-Д" необходимо выполнение условий энергетической и пространственной устойчивости дуги. Пространственная устойчивость дуги выше при использовании в качестве источника питания источника напряжения $/K_n \rightarrow 0 /$.

5. При рассмотрении электродинамического процесса взаимодействия дуги и сварочной ванны установлено явление саморегулирования в сварочном контуре по скрытой составляющей длины дуги.

6. На основе анализа процессов саморегулирования по скрытой составляющей длины дуги вскрыта возможность построения параметрического регулятора глубины проплавления с использованием в качестве источника питания дуги источника напряжения.

Качество динамики регулятора обеспечивается при минимальной инерционности сварочного контура.

7. На основе теоретических и экспериментальных исследований сформулированы требования к созданию источника питания, как элемента параметрического регулятора глубины проплавления.

8. Производственное внедрение параметрического регулятора глубины проплавления при производстве прямошовных труб из нержавеющей сталей аустенитного класса типа 18-8 на стане АДС Московского трубного завода показали её работоспособность и экономическую эффективность, заключающуюся в повышении производительности на 12-15%, улучшении качества сварного соединения в среднем на 28-30%,

сокращении расхода электроэнергии в 1,5 раза, что в целом составляет экономический эффект за год в размере 38 тысяч рублей на одном стане.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Гладков Э.А., Юхин Н.А., Гуслистов И.А., Влияние формы вольтамперной характеристики источника питания дуги на процессы плавления и формирования шва. "Известия ВУЗов. Машиностроение", 1973, № 7.

2. Гладков Э.А., Юхин Н.А., Зависимость формы вольтамперной характеристики дуги от наклона внешней статической характеристики источника питания. "Известия ВУЗов. Машиностроение", 1973, № 12.

3. Гладков Э.А., Юхин Н.А., Акулов А.И., Процессы саморегулирования по скрытой составляющей длины дуги при сварке неплавящимся электродом в аргоне. "Сварочное производство", 1974, № 7.

4. Юхин Н.А., Гладков Э.А., Акулов А.И., Гуслистов И.А., Влияние формы внешней статической характеристики источника питания на характер электромагнитных процессов в дуге. "Известия ВУЗов. Машиностроение", 1974, № 12.

5. Юхин Н.А., Влияние формы вольфрамового катода на вольтамперные характеристики дуги. В сб. "Монтажные работы в строительстве". Труды ВНИИМонтажпечстрой, вып. 13, М. 1974.

Результаты работы доложены и обсуждены:

1. На республиканской научно-технической конференции по сварке "Механизация и автоматизация сварочного производства" /октябрь 1972 г./, г. Могилев.

2. На IX-ой всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов в машиностроении и приборостроении" /январь 1975 г./, МВТУ им. Баумана Н.Э., г. Москва.