М315918

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

М о с к о в с к о е

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

на правах рукописи

Ловля Андрей Дмитриевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНАЯ РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОГО КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ДИАМЕТРОВ В ТРУБОСВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 1977 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

- - - - - - - -

М о с к о в с к о е

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

на правах рукописи

Ловля Андрей Дмитриевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНАЯ РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОГО КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ДИАМЕТРОВ В ТРУБОСВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МВТУ 918

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1315918
Ловля А.Д. Исследование и

Москва 1977 г.

Работа выполнена в Электростальском ордена Ленина заводе тяжелого машиностроения.

Консультант по вопросам трубосварочного производства – – докт.техн.наук Осада Я.Е.

Официальные оппоненты: докт.техн.наук, профессор Клюев В.В., канд.техн.наук Кашуба Л.А.

Ведущее предприятие: Челябинский трубопрокатный завод

Защита диссертации состоится "____" _____ 1977г.

на заседании специализированного совета по технологии и машинам сварочного производства Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э.Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., дом 5

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Училища.

Автореферат разослан "____" _____ 1977 г.

Ученый секретарь специализированного совета

Тип. МВТУ им. Баумана, тир. 100 экз, зак.654
Объем 1 п.л. Л-[illegible]36 от 25.II.77 г.

МВТУ им. Н. Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

В В Е Д Е Н И Е

Острота проблемы качества при производстве сварных труб малых и средних диаметров обусловлена, с одной стороны, ростом объемных показателей их выпуска в стране, а с другой – сравнительно низким уровнем воспроизводимости показателей качества (надежности) сварных соединений в трубах при массовом их изготовлении. Это, в частности, находит отражение и в том, что требованиям действующих стандартов (ГОСТ 10705-63) и ТУ удовлетворяют прямошовные трубы, имеющие довольно низкий коэффициент прочности сварного соединения – в пределах 0,6-0,8 (А.Н.Моношков, С.И.Шихов, А.Н.Светлаков и др..).

Качество продукции – результат технической, организационной, экономической и общественной сфер деятельности предприятия. Целью диссертации является разработка комплекса взаимосвязанных и рационально сочетаемых технических решений, направленных на совершенствование систем выходного контроля и технологической автоматизации трубосварочных процессов. В рамках сформулированного общего подхода возникла необходимость в постановке следующих основных научных задач работы:

– исследовать пути расширения метрологических возможностей электромагнитной дефектоскопии в условиях высокопроизводительного потока и на основе этого разработать принципиальные схемные и конструктивные узлы автоматизированной установки дефектоскопии;

– исследовать пути повышения уровня соответствия параметров и характеристик технологического оборудования трубосварочных линий требованиям его автоматизации и выходного неразрушающего контроля и разработать рекомендации по выбору рациональных характеристик.

Физические особенности изучаемых объектов и характер поставленных задач определили и методы исследования, используемые в диссертации. Аналитические методы исследования базируются на теории линейных преобразований цепей в комплексной плоскости, классической электродинамике и дисперсионном анализе. Экспериментальные методы включают осциллографирование режимных и выходных параметров, металлографический анализ, механические и гидравлические испытания и т.д.

Научная новизна работы заключается в комплексном исследовании факторов, влияющих на качество сварных соединений в трубах и метрологические возможности (эффективность) дефектоскопии в условиях технологического потока. Практическая ценность выразилась в разработке:

- методики вероятностной оценки уровня качества выпускаемых труб по результатам гидравлических неразрушающих испытаний;

- методики выбора оптимальных параметров дефектоскопической аппаратуры в технологическом потоке, схемных и конструктивных решений, положенных в основу установки электромагнитной дефектоскопии ЭЗТМ-I;

- методики направленного (по условиям стабильности процесса) конструирования функции преобразования энергии в системе генератор-индуктор-трубная заготовка высокочастотных трубосварочных установок;

- рекомендаций по приведению в соответствие пропускной способности оборудования трубосварочных линий для выделения и последующей обработки дефектных труб требованиям выходного контроля и др..

Внедрение результатов диссертационной работы в трубной промышленности позволило повысить гарантированность качества выпускаемых сварных труб малых и средних диаметров, снизить затраты на контроль (экономия по отрасли - 2 млн. 623 тыс.руолей в год) и повысить культуру производства в трубосварочных цехах.

Материалы диссертации доложены на Всесоюзном научно-техническом совещании „Основные направления автоматизации прокатных станов в 1971-75 и последующих годах"(г.Жданов,19-21 октября 1971г.), научном семинаре отдела № I ИЭС имени Е.О.Патона II февраля 1974 года и опубликованы в 6 научно-технических статьях. По результатам исследований выдано 4 авторских свидетельств на изобретения.

Диссертация состоит из 4 глав и изложена на 117 страницах, включающих 36 рисунков и 3 таолицы. Библиография составляет 92 работы.

Глава I. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ТРУБ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАБОТЫ

В развитие трубосварочного производства, создание новых технологических процессов, оборудования, систем автоматизации и физических методов неразрушающего контроля вложен труд многих специализированных организаций (ВЧНТИ, ВНИИМЕТМАШ, НИИ ТВЧ имени В.П.Вологдина, УралНИТИ, ИЭС имени Е.О.Патона, ЭЗТМ, институт интроскопии, ЦНИИТМАШ и ряд других институтов и заводов). Общими усилиями этих ведущих организаций, например, в кратчайшие сроки (1960-65гг.) был обеспечен перевод всех действующих и вновь проектируемых трубоэлектросварочных станов для производства труб малых и средних диаметров на сварку токами радиочастоты, что, учитывая некоторые принципиальные особенности нового метода, означало переход на качественно более

высокую ступень трубосварочного производства.

Вместе с тем исследовательские и поисковые работы в области качества сварных труб, развиваясь по нескольким направлениям, в достаточной мере не увязывались, что отрицательно сказывалось на практических результатах. Причина этого кроется в отсутствии единого и научно-обоснованного методологического подхода к проолеме, способного рациональным образом объединить усилия технологов сварщиков и прокатчиков, механиков, электриков и приборостроителей. Формулирование такого подхода, в свою очередь, сдерживается отставанием в изучении механизмов влияния различных факторов технологии, автоматизации и выходного контроля на целевую статистическую функцию гарантированности качества.

Одно из упомянутых направлений сводится к разработке и совершенствованию физических методов неразрушающего выходного контроля сварных труб (пассивный фактор качества). Другие направления охватывают широкий круг вопросов и технических проблем, связанных с разработкой методов нейтрализации влияния на сварку различных внешних и внутренних параметрических возмущений путем совершенствования технологии, оборудования и систем авторегулирования (активный фактор качества).

Показано, что эксплуатационным и, отчасти, метрологическим требованиям выходного контроля сварных труб малых диаметров мерных длин в потоке станов в наибольшей мере отвечает электромагнитный метод дефектоскопии, основанный на действии вихревых токов. В то же время рациональная система выходного контроля, учитывающая необходимость повторной (арбитражной) проверки выделенных из потока труб, должна предусматривать применение и других, менее производительных, но зато более избирательных средств контроля (ультразвуковая дефектоскопия и др.). Изложены основные вопросы состояния теории и практики электромагнитных методов контроля (Н.М.Родигин, Ф.Фёрстер, Р.Хохшильд, В.Г.Герасимов, А.Л.Дорофеев, В.В.Клюев и др.). Показано, что к числу основных причин, сдерживающих развитие и внедрение дефектоскопии сварных труб, относится отставание в разработке аналитических и экспериментально-статистических методов моделирования признаков отличия дефектов сварных соединений и условно допустимых отклонений (шумов), а также выявлении корреляционных связей между ними, что в информационном плане делает задачу создания дефектоскопической аппаратуры и её настройки в потоке неопределенной. Изучение вопроса показало также, что рациональный подход к проблеме, учитывая её чрезвычайную сложность, следует искать не только в решении

упомянутых метрологических задач собственно дефектоскопии, но и путем повышения регулирующих свойств основного технологического оборудования трубных станов, так как в этом случае, наряду с эффектом повышения качества продукции, представляется возможным уменьшить влияние мешающих факторов контроля и, тем самым, упростить задачи дефектометрии.

Показано, что, как в аспекте общей проблемы повышения соответствия параметров и характеристик трубоэлектросварочного оборудования требованиям его автоматизации, так и в рамках задач повышения эффективности существующих методов регулирования сварочных процессов (Т.Кроуфорд, А.В.Бамунэр, А.Р.Казаков, Б.М.янченко, Ю.В.Тесленко, Ю.Н.Скачко, Ю.А.Касалов, Ю.Н.Ланкин и др.), возникает настоятельная необходимость в разработке и внедрении в практику методов параметрической стабилизации сварки путем выбора оптимальных по условиям саморегулирования (устойчивости) соотношений электрических, электромагнитных и конструктивных параметров трубосварочных установок. На основе изучения динамических и других характеристик отдельных звеньев системы генератор-индуктор-трубная заготовка показано, что задача нейтрализации влияния на сварку всей гаммы возмущений, в частности, быстропротекающих (спектр частот 0÷100 герц и выше) и нерегулярных процессов смещения точки (угла) схождения кромок в опорно-сварочной клети стана, путем простого присоединения к существующему оборудованию упомянутых регуляторов, сколь бы совершенными они не были сами по себе, не может найти исчерпывающего решения. Вместе с тем вопросы моделирования (идентификации) трубосварочных процессов и, в частности, определения вида функции преобразования энергии в системе генератор-индуктор-трубная заготовка при воздействии возмущающих факторов, не нашли до настоящего времени удовлетворительного решения.

В технической литературе (Б.Е.Патон, В.К.Лебедев, Н.П.Глуханов, В.Н.Богданов, Ю.Н.Скачко, В.Н.Иванов) выводы аналитических зависимостей для определения параметров сварочного контура выполняются на базе некоторых допущений без учета различных связей корреляционного характера. Использование этих зависимостей в качестве расчетных формул для определения энергетических параметров сварочной установки не приводит к большим погрешностям и, в известной мере, удовлетворяют требованиям практики. Однако воспользоваться упомянутыми зависимостями для построения математической модели установки как объекта регулирования не представляется практически воз-

можным. Показано, что отставание в изучении факторов, влияющих на стабильность сварки, сдерживает создание наиболее совершенных комбинированных регуляторов, сочетающих прямые связи по основным возмущениям и обратные связи по отклонению режимных и выходных параметров процесса.

В соответствии с выводами, вытекающими из методологического анализа проблемы в целом, объем и содержание диссертационной работы были определены постановкой следующих задач:

1. Исследовать основные виды дефектов сварных труб и разработать методику определения априорных вероятностей их образования. На основе этого определить показатели технико-экономической эффективности различных систем выходного контроля в зависимости от методов сварки, применяемых в трубосварочном производстве.

2. Разработать рекомендации по выбору рациональных характеристик и схем оборудования для автоматического выделения дефектных труб из технологического потока трубосварочных станов и агрегатов.

3. Разработать методику выбора оптимальных параметров настройки дефектоскопической аппаратуры электромагнитного типа в потоке станов.

4. Разработать конструкцию индукционного преобразователя и схему установки дефектоскопии, отвечающим основным требованиям технологического потока трубосварочных станов и агрегатов.

5. По сформулированным условиям устойчивости (стабильности) сварочного процесса и алгоритмам настройки разработать и опробовать на действующих станах методику выбора оптимальных соотношений параметров нагрузочного колебательного контура высокочастотных трубосварочных установок.

6. На основе обобщения данных опыта и результатов всего комплекса выполненных исследований сформулировать основные положения методологического подхода к проблеме качества сварных труб и постановки новых задач.

Глава 2. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБ И ВОПРОСЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Для нормирования влияния на прочность ($K_п$) труб всего множества дефектов сварки используется модель сварного шва, ослабленного утонением его стенки на некоторую величину h (А.Н.Моношков, С.И.Пыхов и др.), функция распределения плотности вероятности которой $\Psi(h)$, как это показано в работе, подчиняется нормальному закону. При такой посылке вероятность появления в партии отдельных труб с дефектами строения металла, размеры которых по высоте шва ($\delta_0 + \Delta y$) сни-

жают коэффициенты прочности образцов и выводят их за пределы нормативных ($K_{пн}$), равна

$$Б = Вер(K_п < K_{пн}) = 1 - Ф\left[\frac{\Delta_у + \delta_о(1-K_{пн})}{\sigma_A}\right], \quad (2.1)$$

где Ф – функция или интеграл Лапласа; $\Delta_у$ – средняя высота грата шва.

В качестве выборки для определения параметров σ_A используются результаты неразрушающих гидравлических испытаний, что (в отличие от механических испытаний на разрушение) позволяет снизить трудоемкость, избежать потери металла и существенно повысить оперативность контроля. При давлении опрессовки q и диаметре тонкостенной трубы D разрушение в процессе гидравлического испытания произойдет лишь в том случае, если нарушение сплошности металла по высоте шва будет определяться неравенством $h > \delta_о + \Delta_у - qD/\sigma_р$, где $\sigma_р$ – предел прочности металла. Следовательно, вероятность образования дефектов, выявляемых методом гидроопрессовки, равна

$$Б_{го} = Вер(h > \delta_о + \Delta_у - \frac{qD}{\sigma_р}) = 1 - Ф\left(\frac{\delta_о + \Delta_у - qD/\sigma_р}{\sigma_A}\right). \quad (2.2)$$

Таким образом, определение априорных показателей по объемам брака (без учета дефектов по концам, кривизне труб и т.п.) сводится к решению (2.I) путем подстановки значений σ_A, найденных из (2.2).

Для сравнения различных систем выходного контроля в трубосварочных цехах используется известная из литературы (Г.В.Еремин, Н.А.Ефимов, О.Н.Федоров) зависимость

$$F = 1 + R\left(\frac{1-\varphi}{\gamma} - 1\right), \quad (2.3)$$

где F – коэффициент технико-экономической эффективности контроля; R – априорная вероятность наличия годных труб в партии ($R = 1 - Б$); φ – вероятность ошибочной браковки годных труб из-за несовершенства контрольной аппаратуры (риск изготовителя); γ – вероятность того, что часть брака будет из-за несовершенства контроля признана годной (риск заказчика).

Исходя из исследованных в работе особенностей, вытекающих из стохастической природы трубосварочных процессов, представим, что на технологический режим, заданный некоторым обобщенным параметром настройки $T_о$, наложена аддитивная помеха или возмущение $T(t) = T_о + \Delta T(t)$. Рассматривая процесс как стационарный (математическое ожидание $M[T(t) - T_о] = 0$), имеем $\Delta T = T_о - T$. Тогда априорная вероятность наличия доброкачественных труб в партии изготовленных выразится интегралом

$$R = \int_{T_0-\Delta T_n}^{T_0+\Delta T_n} \varphi(T)dT = \Phi\left(\frac{\Delta T_n}{\sigma_A}\right), \qquad (2.4)$$

где ΔT_n – допустимое значение вариации заданного режима технологии.

Выразим погрешности контроля (γ, ψ) через функции распределения сигнала X на входе решающего устройства дефектоскопической аппаратуры релейного типа от дефектов $\varphi_c(x)$ и помех $\varphi_n(x)$. Устройство срабатывает при некотором выранном пороговом значении сигнала X_0. Тогда

$$\gamma = \int_{-X_0}^{+X_0} \varphi_c(x)\,dx = \Phi(z); \qquad \psi = 2\int_{+X_0}^{+\infty} \varphi_n(x)dx = 1-\Phi(z\sqrt{\rho}), \qquad (2.5)$$

где σ_c и σ_n – параметры нормального закона распределения сигналов соответственно от дефектов и помех (шумов); $\rho = \sigma_c^2/\sigma_n^2$ – отношение сигнал–помеха на входе решающего устройства; $z = X_0/\sigma_c$ – параметр настройки автоматизированной дефектоскопической установки.

С учетом полученных функциональных зависимостей и того очевидного состоятельства, что при данном способе селекции сигнала на фоне шумов параметр z настройки дефектоскопической аппаратуры является производным стабильности технологического процесса сварки $(\Delta T/\sigma_A)$, выразим коэффициент технико-экономической эффективности (2.3) в более удобном для факторного анализа виде

$$F = 1 + \Phi\left(\frac{\Delta T_n}{\sigma_A}\right)\left\{\frac{\Phi[z(\Delta T/\sigma_A)\sqrt{\rho}]}{\Phi[z(\Delta T/\sigma_A)]} - 1\right\}, \qquad (2.6)$$

где параметр σ_A отражает меру эффективности регулирующих и саморегулирующих свойств элементов оборудования стана.

Задача рационального построения системы выходного контроля сводится к обеспечению экстремального значения функции $\Phi(z\sqrt{\rho})/\Phi(z)$ при некоторых ограничениях технико-экономического характера. В работе показано, что это оказывается возможным лишь при соблюдении условия

$$П\% > [1 - R(\Delta T_n/\sigma_A)]\,100\%, \qquad (2.7)$$

где П – пропускная способность (производительность) оборудования и вспомогательных участков линий трубоотделки станов, предназначенных для выделения и последующей обработки дефектных труб вне потока (накопительные карманы, транспортные устройства, участки повторного контроля, сортировки, ремонта дефектных труб и т.п.).

Наиболее общий и существенный вывод, вытекающий из сравнения числовых значений П% действующих трубосварочных станов с расчетными

(значения R даны в таблице I) сводится к тому, что несоответствие между ними заключает в себе одну из главных причин, ограничивающих метрологические возможности дефектоскопии сварных труб в потоке.

Таблица I

Показатели технико-экономической эффективности (F) и интегральной выявляемости (ИВ) дефектов в зависимости от применяемых методов выходного контроля ($К_{пн}$= 0,7)

Трубосварочные станы и агрегаты	контроль методом гидроопрессовки		контроль гидроопрессовка--визуальный осмотр ОТК	
	F	ИВ%	F	ИВ%
1. ТЭСС 6-32 МТЗ, сварка сопротивлением (трубы I0xI,0 мм, I2335 шт., R = 80,I%)	I,09	8,92	I,64	44,5
2. ТЭСА 20-I02 СТЗ, сварка ТВЧ (трубы 76x3,5 мм, I2824 шт., R = 93,0%)	I,07	7,40	I,55	37,5
3. ТЭСС I0-60 ПСТЗ, сварка ТВЧ (трубы 5Ix2,0 мм, 9492 шт., R = 90,6%)	I,I8	I6,70	I,83	48,0
4. Агрегат печной сварки I/2"-2" ЧТПЗ (трубы 33,5x3,25 мм, 25I33 шт, R = 92,0%)	I,I4	8,92	I,29	24,3
5. ТЭСС 20-76 Кировского завода ОЦМ, сварка ТВЧ (трубы I6xI,0 мм, сплав Л68, 675I шт., R = 77,3%)	I,0I	3,I2	I,07	9,I

Возможны два подхода к реализации условия (2.7). Один из них сводится к реконструкции линий трубоотделки с целью повышения пропускной способности П% в соответствии с рекомендуемыми в работе числовыми данными. Другой подход связан с повышением уровня технологической автоматизации трубосварочных процессов (снижением σ_A). В этом случае при достижении некоторого заранее известного уровня качества, определяемого априорной вероятностью R = 0,95 ÷ 0,96, наступает момент, когда условие (2.7) оказывается реализованным без каких-либо затрат на реконструкцию линий трубоотделки станов.

Показано, таким образом, что на данном этапе развития трубосварочного производства и состояния метрологических проблем собственно дефектоскопии повышение уровня технологической автоматизации трубосварочных процессов из-за наличия определенной (однонаправленной) корреляционной связи между активным фактором технологии и пассивным

фактором выходного контроля вызывает своего рода цепную реакцию, воздействуя не только прямым образом на гарантированность качества выпускаемых труб, но и, как это видно из (2.6), на технико-экономическую эффективность применяемых методов выходного неразрушающего контроля. В рамках общего методологического подхода к проблеме это придает вопросам авторегулирования трубосварочных процессов значение узлового звена.

Изложены результаты исследования основных мешающих факторов контроля. Показано, что применительно к электромагнитной дефектоскопии доминирующее влияние оказывают факторы, обусловливающие локальные изменения магнитных свойств в металле. Из них, в свою очередь, особо следует выделить такие изменения, образование которых в силу технологических особенностей нагрева металла и его сварки встык давлением, определенным образом коррелируются с образованием наиболее опасных дефектов строения шва типа непровар.

Глава 3. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ СВАРНЫХ ТРУБ В ПОТОКЕ ТРУБОСВАРОЧНЫХ СТАНОВ И РАЗРАБОТКА ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЭЗТМ-I

Особенностям электромагнитной дефектоскопии труб в потоке в наибольшей мере отвечают измерительные системы, основанные на принципе последовательного эталонирования с самокомпенсацией. Показано, что применительно к таким системам функция преобразования сигнала в комплексной плоскости выражается формулой

$$U_c = \dot{I}\omega M_э \left\{ \frac{\xi_к \lambda(\omega)}{1+\lambda^2(\omega)} - \frac{\beta^2 \alpha \lambda(\omega)}{\alpha^2+\beta^2\lambda^2(\omega)} + j\left[1-\beta+\frac{\beta^3\xi_к\lambda^2(\omega)}{\alpha^2+\beta^2\lambda^2(\omega)} - \frac{\xi_к\lambda^2(\omega)}{1+\lambda^2(\omega)}\right]\right\}, \quad (3.1)$$

где I – ток в катушках датчика; $M_э$ – взаимоиндуктивность катушки и эталонного образца; $\xi_к$ – конструктивный параметр преобразователя, зависящий, главным образом, от коэффициента заполнения; $\lambda(\omega)$ – параметр настройки, зависящий при данном эталоне от частоты ω; α – коэффициент вариации сопротивления, обусловливающего активные потери в образце; β – коэффициент вариации реактивных сопротивлений.

При низких частотах ($\lambda < 1$) дефекты строения шва (непровар, трещины), отличающиеся незначительной шириной раскрытия, вызывают преимущественно изменение активной составляющей тока в образце. Такие дефекты (надежное их выявление составляет основную задачу дефектоскопии сварных труб) условно отнесены к дефектам класса α.

Отношение модулей сигналов, обусловленных нормированными дефектами классов α ($\alpha = N$) и β ($\beta = N$), определяет разрешающую способность

(чувствительность) преобразователя к дефектам строения шва. В пределе, когда $N \to I$ (малые или скрытые дефекты)

$$P_{\alpha} = \frac{\xi_к \lambda(\omega)[1+\lambda^2(\omega)]}{\sqrt{4\xi_к \lambda^2(\omega)+[\lambda^2(\omega)(1-\xi_к)+\lambda^2(\omega)(2-3\xi_к)+1]^2}} \qquad (3.2)$$

При сформулированных условиях оптимальное значение $\lambda_0(\omega_0) = 1/\sqrt{1-\xi_к}$. Показано, что в соответствии с принципом двухканальности Б.Н.Петрова электромагнитные дефектоскопы могут проявлять свойства инвариантности по отношению к определенным изменениям параметров контролируемых образцов. Приравняв нулю вещественную и мнимую составляющие функции преобразования (3.I), определим такие условия по отношению к варьируемым величинам α и β

$$\alpha = \lambda^2(\omega)\frac{1+\lambda^2(\omega)(1-\xi_к)^2}{1+\lambda^2(\omega)}; \quad \beta = \frac{1}{1-\xi_к}\cdot\frac{1+\lambda^2(\omega)(1-\xi_к)^2}{1+\lambda^2(\omega)}. \qquad (3.3)$$

Показано, что любому значению ω всегда соответствует некоторое сочетание вариаций α и β, при котором сигнал на выходе преобразователя будет равен нулю. Характер этого сочетания самым невыгодным образом копирует исследованную в работе закономерность, когда наличие непровара в шве и увеличение α сопровождается в силу влияния технологических факторов уменьшением β.

Из (3.I) следует, что оптимальной частоте ω_0 соответствует такой режим, при котором наблюдается равенство в фазах сигналов, обусловленных вариациями α и β. Эта особенность и положена в основу разработанной методики экспериментального определения оптимальной частоты генератора.

Выбор частоты ω_0 в соответствии с методикой обеспечивает максимальную чувствительность преобразователя к дефектам строения шва, однако, исключает возможность применения фазовых методов селекции сигналов. Исходя из этой особенности, в работе делается вывод, что применительно к дефектоскопии сварных труб малых и средних диаметров в потоке наиболее рациональным является способ селекции, основанный на амплитудно-динамическом принципе разделения сигналов.

Результаты выполненных исследований использованы при разработке дефектоскопической установки ЭЗТМ-I. В работе приводится описание конструктивных и схемных решений основных узлов установки. Излагаются результаты испытаний и внедрения дефектоскопов на ряде трубных заводов. Эти результаты, сравниваемые с данными контроля сварных труб методом гидроопрессовка-визуальный осмотр (таблица I), иллюст-

рируют повышение технико-экономической эффективности контроля. среднем по обследованным станам и агрегатам (ТЭСС 6-32, ТЭСС 10-60 ТЭСС 20-76, ТЭСА 20-102, агрегат непрерывной печной сварки 1/2"-2" с учетом их производительности имело место увеличение коэффициент технико-экономической эффективности (F) контроля с 1,39 до 1,48.

В рамках общей проблемы достигнутое повышение интегральной выявляемости (ИВ) дефектов и коэффициента технико-экономической эффективности, несмотря на значительное сокращение затрат на контроль, не является определяющим. Причина этого кроется в низкой выявляемости дефектов строения шва, что, в свою очередь, явилось следствием:

а) вынужденного загрубления чувствительности контрольной аппаратуры из-за несоответствия пропускной способности (П%) оборудования линий трубоотделки, осуществляющего выделение и последующую обработку дефектных труб [условие (2.7), глава 2];

б) влияния мешающих факторов контроля, в частности, колебаний величины внутреннего грата, из-за нестабильного характера нагрева и деформации кромок трубной заготовки в процессе сварки.

Глава 4. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ТРУБ И РАСШИРЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО ПРОЦЕССА

Изложены результаты исследования основных возмущений при сварке труб токами радиочастоты. Показано, что по сравнению с другими возмущениями, например, относительно монотонными колебаниями толщины ленты, фактор смещения точки схождения кромок трубной заготовки в опорно-сварочном калибре стана связан с наиболее сложными и нерегулярными процессами формирования зоны нагрева. Экспериментальным путем подтверждено, что одним из доминирующих факторов дестабилизации точки и угла схождения кромок являются колебания осевого натяжения в ленте на участке между формовочными и калибровочными группами клетей стана.

В качестве некоторого обобщенного параметра технологической настройки системы нагрева стана выбрана удельная тепловая энергия A_s, генерируемая в единице площади стыкуемых кромок за время нагрева. В линейном приближении функция преобразования энергии системы нагрева имеет вид

$$A_s = \frac{\ell \cdot w^2 \sqrt{\omega\mu\rho}}{\sqrt{2}\cdot v_c} \left| \frac{E_{xx}\exp(-j\pi/4)}{\delta Z_э \exp[j(\varphi_э - \pi/4)] + 2\ell w^2 \sqrt{\omega\mu\rho}} \right|^2, \quad (4.1)$$

где ℓ - расстояние от оси индуктора до точки схождения кромок; w - количество витков в индукторе; E_{xx} - эдс, приложенная к кромкам при $\ell \to \infty$; ρ - удельное сопротивление поверхностного слоя кромок; μ - магнитная проницаемость; $Z_э$ - полное сопротивление, последовательно включенное по отношению к нагрузке ($Z'_{кр}$) в схеме замещения.

Экспериментальными исследованиями доказано, что механизм преобразования энергии в процессе сварки, моделируемый функцией (4.I), качественно подтверждается. На основе изучения данных опыта и теоретического анализа свойств функции преобразования в работе показано:

а) сложившиеся на практике соотношения параметров действующих высокочастотных установок трубосварочных станов предопределяют режимы сварки, характеризуемые, как правило, областью $\partial A_s/\partial \ell < 0$, что не отвечает условиям стабильности процесса;

о) любому наперед заданному расстоянию ℓ от индуктора до точки схождения соответствует определенное значение $Z_э$ и, следовательно, реактанса рассеяния нагрузочной цепи, при котором сварочный режим характеризуется экстремумом функции (4.I);

в) настройка параметров стана на режим, соответствующий экстремуму функции (4.I), отвечает оптимальным условиям проявления саморегулирующих свойств сварочного контура к возмущающему фактору $\ell = var$.

Условия параметрической нейтрализации влияния на сварочный процесс основного возмущающего фактора формулируется в виде

$$\frac{\partial A_s}{\partial \ell} = 0; \qquad Z_э = Z'_{кр}. \qquad (4.2)$$

Общий вывод, вытекающий из (4.2), сводится к необходимости некоторого смягчения нагрузочных характеристик высокочастотных трубосварочных установок. Показано, что применительно к действующим станам условие (4.2) может быть реализовано путем соответствующего увеличения реактансов рассеяния в сварочном контуре (в частности, увеличением диаметра индуктора). Результаты испытаний подтвердили, что настройка параметров трубосварочных установок в соответствии с разработанной методикой позволяет заметно повысить стабильность сварки. Вместе с тем предложенная методика не является универсальной, поскольку для её реализации необходим дополнительный запас мощности источника. Поэтому кардинальное решение задача находит при замене традиционно применяемых сложных многоконтурных схем высокочастотных ламповых генераторов трубосварочных установок, разработанных в свое время для металлургических плавильных печей, более простыми и надежными одноконтурными схемами (А.В.Донской, В.В.Воло-

дин), обладающими более мягкими нагрузочными характеристиками.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе статистико-вероятностного метода оценки уровня качества сварных труб и данных обследования трубосварочных цехов установлено, что между реальными данными по объемам брака, учитывающими всё многообразие скрытых дефектов шва, и пропускной способностью (П%) оборудования линий трубоотделки, предназначенного для выделения и последующей обработки дефектных труб вне потока, имеет место существенный разрыв, что в сильной мере сказывается на эффективности выходного неразрушающего контроля.

2. Показано, что оптимальная настройка электромагнитной дефектоскопической аппаратуры в потоке соответствует такому режиму её работы, при котором фазовые характеристики сигналов на выходе преобразователя от дефектов строения шва (непровар) и основных мешающих факторов контроля одинаковы, что в свою очередь, может быть положено в основу методики настройки аппаратуры и выбора рационального принципа селекции сигналов. С учетом результатов исследования разработаны конструкция и схема установки ЭЗТМ-I.

3. Установлено, что по отношению к основному возмущающему фактору сварки труб ТВЧ – смещению точки схождения кромок в опорно-сварочном калибре – сложившиеся на практике соотношения параметров трубосварочных установок не отвечают условиям стабильности процесса.

4. Установлен экстремальный характер нагрева ($A_{\leq}$) в зависимости от расстояния ℓ между точкой схождения кромок и индуктором и показано, что режимы, определяемые экстремумом функции $A_{\leq}(\ell)$, отвечают оптимальным условиям саморегулирования энергии при воздействии фактора $\ell = var$.

5. Показано, что при наличии запаса мощности источника питания стабильность сварки можно повысить, используя в качестве регулирующего фактора настройки величину реактанса рассеяния нагрузочного колебательного контура.

6. Показано, что задача направленного конструирования функции преобразования энергии в системе генератор-индуктор-трубная заготовка в соответствии с разработанной методикой и алгоритмом настройки (4.2) наиболее рационально может быть решена при замене многоконтурных схем высокочастотных источников питания трубосварочных установок более простыми одноконтурными схемами, обладающими более мягкими нагрузочными характеристиками и сравнительно высоким к.п.д..

7. На основе обобщения данных опыта и результатов выполненных исследований сформулирован общий методологический подход к задаче, в рамках которого на первом этапе ключевое значение придается:

– приведению в соответствие производительности (пропускной способности П%) оборудования и вспомогательных участков линий трубоотделки, предназначенных для выделения и последующей обработки дефектных труб вне потока (накопительные карманы, транспортные устройства, участки повторного контроля, сортировки, ремонта и т.п.) требованиям выходного неразрушающего контроля [условие (2.7)];

– приведению в соответствие статических и динамических характеристик высокочастотных трубосварочных установок требованиям их автоматизации [условие (4.2)].

Л И Т Е Р А Т У Р А,
опубликованная по теме диссертации.

1. Ловля А.Д. Экстремальная система регулирования стыковых машин для контактной сварки методом непрерывного оплавления. Автоматическая сварка, № 7, 1960.
2. Ловля А.Д. Способ управления оплавлением при контактной стыковой сварке, а/с № 270924 от 4 марта 1970.
3. Ловля А.Д., Казакевич И.И. и др. Вихретоковый дефектоскоп для контроля труб и проката, а/с № 301108 от 18 января 1971.
4. Ловля А.Д. Параметрическая стабилизация процессов сварки труб токами высокой частоты на трубосварочных агрегатах. Сварочное производство, № 8, 1972.
5. Ловля А.Д. Способ управления режимом сварки труб, а/с № 385691 от 21 марта 1973.
6. Ловля А.Д. Инвариантные свойства индукционных преобразователей и особенности дефектоскопии сварных труб. Дефектоскопия, № 5, 1973.
7. Ловля А.Д. Способ сварки труб токами высокой частоты, а/с № 472716 от 22 марта 1973.
8. Ловля А.Д. Автокоррекция программы скорости оплавления в стыковых сварочных машинах. Автоматическая сварка, № 6, 1974.
9. Осада Я.Е., Ловля А.Д. Вопросы комплексного подхода к задаче повышения гарантированного качества сварных труб. Сталь, № 2, 1976.
10. Ловля А.Д. Выбор параметров системы нагрева при сварке труб токами высокой частоты. Сварочное производство, № 3, 1976.