

МЗБ 1630
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

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

На правах рукописи

ГАДЖИЕВ Нурмагомед Гаджиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПРОЦЕССА СВАРКИ НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ МЕТАЛЛА
ШВА ГОРЯЧИМ ТРЕЩИНАМ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного
производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Москва

1980

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

Научный руководитель: к.т.н., доцент Якуган Б.Ф.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Стеклов О.И.
к.т.н., с.н.с. Духи Н.А.

Ведущее предприятие - Московский трубный завод

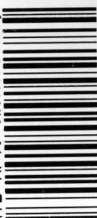
Защита состоится " _____ " _____ 1980 г. на заседании специализированного Совета К053.15.03 по технологии и машинам сварочного производства Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э. Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-ая Бауманская ул., 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Училища.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1980 г.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1361630

Гаджиев Н. Г. Исследование к

Ямпольский В.М.

М 361630

Объем I п.л.
Тир. 105

Общая характеристика работы

Актуальность работ. Высоколегированные аустенитные стали и сплавы, обладая высокими служебными свойствами в широком диапазоне температур, являются важнейшим материалом в машиностроении. Главная проблема использования рассматриваемых материалов в сварных конструкциях состоит в высокой склонности соединений к образованию горячих трещин, что обусловлено многокомпонентностью их состава, приводящей к структурной и концентрационной неравновесности в сварном шве. Проблема предотвращения трещин осложняется с ростом служебных свойств сталей и сплавов, и при использовании более производительных режимов.

Из анализа развития физико-химической неоднородности в металле при сварке следует, что существующий основной способ борьбы с горячими трещинами путем оптимизации состава шва используется неэффективно, так как рассматривается в отрыве от технологических аспектов проблемы и с детерминистических позиций. Поэтому сплавы отличающиеся хорошей свариваемостью на одних режимах, оказываются непригодными для сварки на других, характеризующихся большой производительностью, из-за возрастания вероятности образования горячих трещин. Это является основным тормозом в одновременном повышении уровня автоматизации и производительности ряда технологических процессов, в частности производства труб на трубосварочных станах.

В связи с этим перед сварочной наукой и техникой стоит актуальная задача одновременного повышения технологической прочности, степени автоматизации и производительности процессов сварки. Новым ее решением является развитие вероятностного подхода, обеспечивающего оптимизацию химического состава и режима сварки в условиях применения автоматических систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Цель работы состоит в установлении общих закономерностей изменения технологической прочности при комплексном варьировании параметров режима сварки и разработка способов ее обеспечения на высокопроизводительных режимах применительно к трубосварочному производству.

Методы исследования. Для оценки влияния состава и режима сварки на технологическую прочность металла шва использованы количественный метод ЛТП и установка ЛТП-6. Влияние режима сварки на параметры сварочной ванны и металла шва исследовалось с при-

менением метода "выплескивания" сварочной ванны, а также комплекса приборов металлографического исследования. Для оценки необходимого для данной конструкции показателя технологической прочности при сварке неплавящимся электродом разработана методика, основанная на получении швов эталонного ряда с применением флюс-паст, содержащих различное количество вредных примесей.

В работе использованы методы построения математических моделей с применением планирования многофакторного эксперимента и математической статистики.

Научная новизна. Разработан принцип обеспечения стойкости высоколегированных сталей и сплавов против образования горячих трещин при сварке на высокопроизводительных режимах путем:

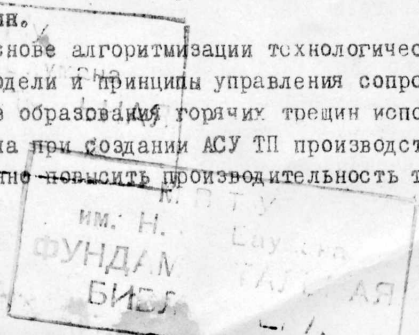
1. Выбора состава сплава с учетом чувствительности уровня его технологической прочности к изменению параметров режима сварки (на основе выявленной линейной зависимости показателя деформационной способности от произведения мощности дуги на скорость ее перемещения).

2. Выбора наиболее производительного режима сварки, гарантирующего запас технологической прочности при компенсации внешних возмущений (на основе установленной впервые S - образной кривой зависимости вероятности образования горячих трещин $P(-)$ от режима сварки).

3. Автоматического управления запасом технологической прочности в области выбранного режима (за счет применения разработанного способа регулирования процесса дуговой сварки, предусматривающего компенсацию внешних возмущений на основе предложенного алгоритма управления и математических моделей).

Практическая ценность. 1. Разработанный способ расчетно-экспериментальной оценки технологической прочности сплавов с учетом их чувствительности к изменению параметров режима сварки позволил в судостроительной и авиационной промышленности выбрать оптимальные сплавы и технологии сварки, что дало экономический эффект на одном предприятии в 24,5 тысяч рублей в год за счет предотвращения горячих трещин.

2. Установленные, на основе алгоритмизации технологической прочности, математические модели и принципы управления сопротивляемостью металла шва против образования горячих трещин использованы в МВТУ им. Н.Э.Баумана при создании АСУ ТП производства труб, что позволит существенно повысить производительность трубосварочных станков.



3. Разработанный способ определения необходимого для свариваемой конструкции уровня технологической прочности с использованием филс-паст эталонного ряда позволяет оценить темп внутренней деформации при сварке неплавящимся электродом и тем самым повысить их надежность.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы были доложены на научно-технической конференции "Сварка жаропрочных сплавов" (г. Омск, 1978 г.), а также на научном семинаре сварщиков г. Москвы (в МВТУ им. Н.Э.Баумана) в октябре 1979 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе и приложения. Выполнена на 118 страницах машинописного текста, содержит 83 рисунка, 16 таблиц и 125 наименований используемых источников.

Глава I. Современные аспекты проблемы технологической прочности высоколегированных аустенитных сталей и сплавов при механизированной сварке.

Анализ металлофизических основ обеспечения требуемых служебных свойств высоколегированных аустенитных сталей и сплавов, предусматривающих многокомпонентность их легирования, свидетельствует о закономерном снижении стойкости сварных соединений против образования горячих трещин по мере возрастания жаропрочности, коррозионной стойкости и т.д., что связано с повышением ликвационной неоднородности и неравновесной неустойчивости структуры шва.

На основе изучения природы и механизма образования горячих трещин, а также закономерностей влияния состава и структуры шва на вероятность их возникновения в работах А.А.Бочвара, Н.Н.Прохорова, Н.Н.Мовчана, И.И.Повикова, М.Х.Шоршорова, Т.А.Чернышевой, Г.Л.Петрова, Б.И.Медовара и др. указаны принципиальные пути повышения технологической прочности.

В этих работах главное внимание уделено анализу металлургического аспекта проблемы, итогом которого явились рекомендации по выбору состава сплавов с высокой сопротивляемостью образованию горячих трещин. Однако, их использование не привело к полному решению проблемы, так как на практике образуются трещины и при сварке сплавов оптимального состава. Это связано с тем, что сплавы оптимального состава могут давать качественные соединения лишь в определенном диапазоне режимов сварки. Важно подчеркнуть, что резкое снижение технологической прочности имеет место на высокопроизводительных режимах.

В работах В.И.Дятлова, В.С.Сидорука, Б.Ф.Якушина, Г.А.Славина и др., посвященных анализу влияния режима сварки на образование трещин, отмеченное снижение технологической прочности при увеличении скорости сварки или мощности дуги связывается с уменьшением пластичности в температурном интервале хрупкости за счет неблагоприятного изменения схемы кристаллизации. Это явилось научным обоснованием для рекомендаций по борьбе с горячими трещинами за счет максимального снижения скорости сварки. Однако в указанных работах не решены вопросы обеспечения технологической прочности на высокопроизводительных режимах автоматической сварки.

В главе экспериментально показано снижение эффективности металлургического воздействия на сварной шов с целью предотвращения трещин при увеличении скорости сварки. Так, увеличение в аустенитном шве количества ферритной фазы от 0 до 4% повышает показатель технологической прочности при сварке со скоростью 1,67 (мм/с) на 250%, а при 20 (мм/с) лишь на 50%. Поэтому, особое значение имеет научно обоснованный выбор параметров режима сварки. Отмечено отрицательное влияние на технологическую прочность сварных конструкций случайных колебаний параметров процесса сварки, что требует перехода от детерминированных моделей оценки ее уровня к вероятностным. Применение результатов работ В.И.Волченко, посвященных решению задач статистического управления качеством сварных соединений, позволило предложить вероятностную модель технологической прочности. Согласно этой модели принята гипотеза о наличии области режимов, где образование горячих трещин носит случайный характер, использование которой за счет автоматической компенсации внешних возмущений позволит существенно повысить производительность сварки. Для этого необходимо провести изучение объекта управления, установить детерминированные и вероятностные зависимости между входными технологическими и конструктивными воздействиями и выходными параметрами качества, разработать алгоритмы управления.

В связи с изложенным в задачи работы входило:

1. Создание расчетно-экспериментального метода оценки технологической прочности сплавов, учитывающего чувствительность ее уровня к изменению параметров режима сварки.

2. Разработка вероятностной модели технологической прочности и установление характера и степени влияния режима сварки и внешних возмущений на вероятность образования горячих трещин.

3. Разработка математических моделей внутрипараметрических связей системы "возмущения - ванна - структура - технологическая

прочность", пригодных для использования в системах автоматического управления.

4. Разработка способа автоматического регулирования процесса дуговой сварки, обеспечивающего необходимый уровень технологической прочности сварной конструкции.

5. Разработка рекомендаций по предотвращению кристаллизационных трещин при сварке труб из аустенитных сталей на высокопроизводительных режимах.

Глава 2. Установление функциональных связей между структурой, технологической прочностью и режимами сварки.

Для анализа влияния параметров режима сварки на технологическую прочность металла шва наряду с высоколегированными аустенитными материалами (10Х18Н10Т, Х20Н45В, 10Х17Н13М2Т и др.) использованы мартенситно-старевшие (10Х16Н4Б), перлитные (20ХГСА), марганцовистые (8Г28В8МВБ) и другие сложнолегированные стали.

В качестве показателя стойкости металла шва против образования горячих трещин при изменении режима сварки обоснован и принят известный интегральный параметр – критический темп машинного растяжения (β_m), который определяется как отношение критической скорости растяжения ($V_{кр}$) к средней скорости охлаждения металла шва и ТИХ, измеряемой в кристаллизующемся металле шва с помощью разработанного приспособления. Экспериментально показано, что использование специальных образцов с косой прорезью позволяет исключить погрешности, вызванные изменением $V_{кр}$ при различных термических циклах сварки.

При построении функциональной зависимости "технологическая прочность – режим" рассмотрены два принципиально разных случая, по характеру изменения параметров режима, существующих на практике: 1) независимое изменение параметров режима, характерное для многослойной сварки; 2) изменение параметров, функционально связанных между собой условием сохранения постоянства проплавления, характерное для одно- и двуслойных швов.

В работе показано, что в первом случае целесообразно использовать для оптимизации параметров режима методы планирования многофакторного эксперимента. Во втором случае количественное изменение режима сварки можно производить каким-либо интегральным параметром, учитывающим его отдельные величины.

Показано, что известный параметр – погонная энергия ($q/V_{св}$) не позволяет установить типовые зависимости $\beta_m = f(\text{режим})$, так как он не определяет параметры схемы кристаллизации,

ответственные за изменение технологической прочности. На основании анализа литературных данных выдвинуто и экспериментально подтверждено предположение, что критерий схемы кристаллизации находится в корреляционной связи с величиной произведения мощности дуги на скорость ее перемещения ($R = q \cdot V_{св}$), которая принята за интегральный параметр, характеризующий режим сварки. При сварке неплавящимся электродом с постоянным проплавлением установлено, что исследованные стали и сплавы по характеру зависимости $\beta_m = f(q \cdot V_{св})$ можно разделить на две группы. Одна группа характеризуется монотонным снижением β_m при увеличении параметра режима R , другая — наличием оптимального значения показателя на малых скоростях. Разные марки испытываемых материалов отличаются друг от друга не только величиной максимального значения β_m , но и степенью его снижения по мере увеличения параметра режима. Чем выше показатель β_m на оптимальном режиме, тем выше его чувствительность к изменению параметра R (рис. 1). Следовательно, существующая методика выбора состава сплавов при сварке на одном, случайно выбранном, режиме неправомерна, так как оптимальный состав зависит от режима. Так, если показатель технологической прочности на малых значениях R ($\sim 0,8 \text{ Вт} \cdot \text{м} / \text{с}$) у стали 1113 в 2 раза больше, чем у сплава Х20Н45Л, то на производительных режимах ($\sim 80 \text{ Вт} \cdot \text{м} / \text{с}$) наоборот, ниже в 2 раза.

Для полной оценки технологической прочности сплавов необходимо определение их показателя во всем диапазоне используемых режимов. Связь показателя β_m с параметрами режима может быть выражена линейной зависимостью

$$\beta_m = \beta_{m0} - K(\log R - \log R_0) \quad (1)$$

где β_m, β_{m0} — показатели технологической прочности на текущем R и оптимальном R_0 режимах сварки; K — коэффициент, определяющий степень сжатия β_m при увеличении R . Данное выражение позволяет оптимизировать не только режим сварки, но и состав металла шва. Так, сплавы с наибольшим значением β_{m0} и минимальным K позволяют вести сварку без образования горячих трещин на более производительных режимах.

В работе показано, что указанный характер зависимости показателя технологической прочности от интегрального параметра режима сварки R имеет место и при других способах дуговой сварки (под слоем флюса, лучом лазера), что позволяет оптимизировать их аналогичным образом.

Анализ экспериментальных и литературных данных позволяет установить идентичность закономерностей изменения технологической прочности в процессе кристаллизации и других структуро-чувствительных характеристик свариваемости (порообразование, прочности, пластичности, жаропрочности) от параметра $q \cdot V_{св}$, в основе которой лежит их одинаковая зависимость от уровня структурной и химической микронеоднородности, наследуемого после сварочной операции.

На основе металлографических исследований показано, что характер зависимости $\beta_m = f(R)$ определяется изменением размеров элементов первичной структуры, участвующих в межкристаллической деформации и уровня физико-химической неоднородности (рис. 2). Установлено, что режим левее максимума характеризуется наличием в шве осевого кристаллита, приводящего к концентрации деформаций, и широкими межкристаллическими границами, обогащенными легкоплавкими ликвирующими элементами, что снижает пластичность металла в ТИХ. Превалирующее влияние на снижение показателя в области производительных режимов оказывает неблагоприятное изменение схемы кристаллизации, о чем свидетельствует одинаковая чувствительность деформационной способности металла шва к увеличению критерия схемы кристаллизации для всех исследованных материалов.

Полученные данные показывают, что для увеличения сопротивления металла шва против образования горячих трещин на малых значениях $q \cdot V_{св}$ целесообразны мероприятия, направленные на оптимизацию химического состава шва, а на форсированных режимах — на оптимизацию схемы кристаллизации. Оптимизацию химического состава свариваемых сплавов необходимо проводить с учетом чувствительности их технологической прочности к изменению режима сварки.

Глава 3. Анализ влияния внешних возмущений процесса аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на технологическую прочность.

Номинальный уровень технологической прочности, достигнутый за счет предварительной оптимизации состава шва и режима сварки подвержен в процессе сварки конструкции неизбежным колебаниям под воздействием внешних возмущений. В главе дана характеристика основных реально-возможных технологических и конструктивных возмущений, которых насчитывается при сварке труб более десяти. Показано, что отклонения каждого из параметров режима

(тока, скорости сварки, напряжения) и технологических условий (зазора, толщины и др.) от номинала под воздействием внешних возмущений составляют $\pm 15 \pm 20\%$. Допустимые отклонения, при которых в свойствах сварных соединений нет существенного различия, составляют $\pm 2,5\%$ от номинальных значений.

В работе впервые проведены исследования по влиянию внешних возмущений на сопротивляемость металла шва образованию горячих трещин. Для количественной оценки указанного влияния использован один из методов теории идентификации – метод математической теории эксперимента. С помощью планирования многофакторного эксперимента построена статистическая модель, полученная в условиях нормального формирования сварочной ванны (отсутствии прожогов, непроваров и подрезов). Уравнение регрессии, отражающее связь показателя технологической прочности с действием независимых внешних возмущений и полученное при сварке неплавящимся электродом стали 10Х18Н10Т толщиной 3 мм в области режимов $R=28-34$ Вт/мм имеет вид:

$$\beta_m \cdot 10^4 = 6,8 - 0,02 U_{св} + 0,08 V_{св} - 2,6 \delta \quad (2)$$

где δ – зазор между свариваемыми кройками.

Подобные зависимости были найдены при сварке на разных режимах различных материалов. Установлено, что независимо от уровня используемых режимов и состава сплавов наибольшее отрицательное влияние на показатель β_m оказывает увеличение зазора между свариваемыми кройками и величины сварочного тока под воздействием внешних возмущений. Увеличение скорости сварки в исследуемом диапазоне приводит к некоторому увеличению β_m , а действие напряжения на дуге оказалось незначимым. Степень изменения показателя технологической прочности под действием возмущений зависит от режима сварки и состава сплава. Так, она значительно возрастает с увеличением скорости сварки и мощности дуги (например, при сварке со скоростью 3,3 мм/с изменяется на 15%, а 10 мм на 40% при одинаковом уровне внешних возмущений). Влияние состава на степень изменения показателя технологической прочности коррелирует с величиной коэффициента K из уравнения (1).

Металлографический анализ показал, что снижение технологической прочности в условиях колебания параметров процесса сварки обусловлено неблагоприятным изменением первичной структуры в поперечном и продольном сечениях шва, которая определяется размерами сварочной ванны.

Для анализа влияния изменения показателя β_m под воздействи-

вием внешних возмущений на запас технологической прочности, исчерпание которого приводит к образованию горячих трещин, проведена оценка уровня деформаций, возникающих к концу ТИХ в процессе сварки нержавеющей труб диаметром 78 мм из стали 10Х18Н10Т толщиной 3 мм на стане АДС. С этой целью разработана методика определения необходимого для конструкции темпа деформаций, основанная на создании швов эталонного ряда за счет использования флюс-паст с различным содержанием вредных примесей (С, S).

На основе анализа деформационной способности металла шва и темпа, возникающих в конструкции деформаций как нормально-распределенных случайных величин, впервые разработана вероятностная модель технологической прочности. Согласно этой модели зависимость статистической вероятности образования горячих трещин $P(-)$ от режима сварки имеет вид S-образной кривой, разделяющей весь интервал используемых режимов сварки на три характерные области (рис. 3): 1) гарантированного отсутствия горячих трещин, $P(-) = 0$; 2) вероятностного возникновения трещин, $0 < P(-) < 1$; 3) неизбежного образования трещин, $P(-) = 1$. Производственные режимы находятся в первой области и ограничены критической скоростью $V_{свкр}$, превышение которой может привести к периодическому возникновению случайных горячих трещин. В главе установлено, что расположение S-образной кривой на шкале режима сварки определяется способом сварки, составом сплава и типом конструкции.

Показано, что резервом дальнейшего увеличения производительности без ущерба качеству шва является применение режима из третьей области (составляющей для рассматриваемой конструкции ~50 мм/с) за счет применения системы автоматического управления, которая компенсирует отрицательное влияние внешних возмущений.

Глава 4. Разработка принципиальных основ АСУ технологической прочностью в процессе кристаллизации

В главе рассматривается задача построения автоматизированной системы управления технологической прочностью в процессе кристаллизации применительно к процессу сварки труб на станах АДС.

Показано, что существующие системы стабилизации режимов или величины проплавления при наличии наиболее значимых неуправляемых параметров (зазора, толщины и др.) не обеспечивает требуемого запаса технологической прочности. Необходимы автоматические системы корреляции режима сварки по конечному результату процесса сварки, т.е. показателю технологической прочности. Отмечено, что

применение для этой цели принципа разомкнутого управления с использованием уравнения (2) приводит к принципиальной разнице между моделью объекта и оригиналом, за счет воздействия неконтролируемых возмущений. Невозможность измерения β_m в процессе сварки конструкции исключает применение принципа замкнутого управления.

Установлено, что для построения системы управления, способной эффективно функционировать при действии контролируемых и неконтролируемых возмущений необходим косвенный критерий, коррелируемый с показателем технологической прочности. На основе рассмотренной в работе физической модели "внешние возмущения - ванна - структура - технологическая прочность" показано, что таким критерием могут служить геометрические параметры сварочной ванны, которые однозначно определяют схему кристаллизации.

Экспериментально получены уравнения регрессии, связывающие ширину (B), длину кристаллизующейся части (ℓ) и ширину обратного валика сварочной ванны (δ), которые определялись методом "выплескивания" ванны на специальном приспособлении, с факторами внешнего возмущения:

$$\begin{aligned}\ell &= 42,8 + 0,14 I_{св} + 0,5 V_{св} + 16 \delta \\ B &= 0,8 + 0,04 I_{св} - 0,1 V_{св} \\ \delta &= 8,5 + 0,09 I_{св} - 0,52 V_{св} + 8 \delta\end{aligned}\quad (3)$$

Установлено, что наиболее значимо на длину сварочной ванны влияет зазор между кройками (δ) и сварочный ток ($I_{св}$), а на ширину обратного валика скорость сварки ($V_{св}$) и сварочный ток. Возможные интервалы колебания геометрических размеров составляют: $15 \text{ мм} \leq \ell \leq 25 \text{ мм}$; $0,5 \text{ мм} \leq \delta \leq 6 \text{ мм}$; $8 \text{ мм} \leq B \leq 9 \text{ мм}$.

Совместное решение системы уравнений (2) и (3) позволило получить функциональную зависимость показателя технологической прочности от размеров сварочной ванны.

$$\beta_m \cdot 10^4 = 3,04 - 0,04 \ell + 0,19 B - 0,23 \delta \quad (4)$$

При оптимальных значениях других параметров увеличение длины кристаллизующейся части сварочной ванны и ширины обратного валика под действием внешних возмущений снижает показатель соответственно на 10 и 32%. Ширина сварочной ванны практически не изменяется в процессе сварки и слабо влияет на технологическую прочность. Установлено, что подобный характер модели не зависит от химического состава сплава.

На основе полученных математических зависимостей (2), (3) и

(4), характеризующих внутрипараметрические связи физической модели "внешние возмущения - ванна - структура - технологическая прочность" с действием возмущений по параметрам процесса сварки, совместно с Э.А.Гладковым и А.В.Сас разработан способ регулирования процессом дуговой сварки. Способ предусматривает автоматическое поддержание необходимого запаса технологической прочности в области случайного возникновения трещин на основе разработанного алгоритма управления.

Согласно алгоритму управления (рис. 4) в процессе сварки непрерывно измеряют длину кристаллизующейся части и ширину обратного валика сварочной ванны. При их отклонении от оптимальных значений, вычисленных по модели (4), в блоке формирования требуемых параметров процесса осуществляется вычисление требуемых текущих значений тока ($I_{сбг}$) и скорости сварки ($V_{сбг}$) с применением системы уравнений (3). Действительные $I_{сб}$, $V_{сб}$ и их требуемые значения сравнивают и каждое из рассогласований подает на свой регулятор, вырабатывающий управляющее воздействие.

В работе разработан алгоритм управления технологической прочностью для случая, когда имеется возможность измерения только одного параметра сварочной ванны. На основе принципа инвариантности, алгоритм содержит два канала. В первом канале реализуется основная модель (2), а во втором осуществляются вычисления по корректирующей модели (3). Это позволяет выделить во втором канале информацию о неконтролируемых возмущениях при сравнении измеренной величины параметра ванны с ее математическим ожиданием. Разница между этими величинами используется для коррекции сигнала в канале основной модели.

Полученные в работе данные по идентификации объекта управления и математические модели технологической прочности использованы в МВТУ им. Баумана при создании АСУ ТП для Московского трубного завода. По заявке на изобретение "Способ регулирования процесса дуговой сварки" получено положительное решение.

Глава 5. Разработка и обоснование рекомендаций по повышению технологической прочности при механизированной сварке на высокопроизводительных режимах.

На основе полученных результатов исследований сформулирован системный подход к проблеме обеспечения технологической прочности, учитывающий влияние детерминированных и случайных

факторов и позволяющий использовать резервы металла, технологии и оборудования. Это позволило разработать комплекс мероприятий, направленный на предотвращение горячих трещин при сварке на форсированных режимах. Он включает:

1) оптимизацию способа сварки и химического состава сплавов, обеспечивающих максимальное значение показателя технологической прочности на оптимальных режимах и минимальную их чувствительность к изменению параметров режима сварки в широких пределах;

2) выбор наиболее производительных рабочих режимов, на которых запас стойкости металла шва против образования горячих трещин может быть обеспечен при компенсации внешних возмущений;

3) автоматическое управление технологической прочностью в области режимов на основе установленных математических моделей и критерияльных параметров.

Отмечена целесообразность повышения деформационной способности металла шва за счет применения дополнительных технологических мероприятий. Причем показано, что на малых скоростях сварки целесообразны мероприятия, оптимизирующие химический состав (введение дополнительного присадочного металла в кристаллизующуюся часть сварочной ванны и др.), а на производительных режимах — улучшающие первичную структуру шва (принудительное охлаждение ванны и др.).

Реализация разработанных мероприятий в промышленности позволило предотвратить возникновение горячих трещин на более высоких скоростях сварки и дала экономический эффект на одном предприятии в 24,5 тыс. рублей в год.

В ы в о д ы :

I. Широкому применению автоматической сварки на высокопроизводительных режимах для аустенитных сталей препятствуют недопустимые дефекты типа кристаллизационных трещин, имеющие случайный характер. На вероятность их возникновения наиболее значимое влияние оказывает изменение параметров режима сварки. Существующий способ сравнительной оценки деформационной способности сплавов, проведенный при сварке на одном режиме недостаточен, так как не учитывает ее значений на других режимах и воздействия на нее внешних возмущений.

Разработан расчетно-экспериментальный способ оптимизации химического состава сплавов, учитывающий их чувствитель-

ность к изменению параметров режима сварки на основе выявленной линейной зависимости показателя - темпа принудительного растяжения от логарифма произведения мощности дуги на скорость ее перемещения. По характеру влияния параметра режима сварки на показатель технологической прочности (β_m) высоколегированные сплавы делятся на две группы:

- а) сплавы характеризующиеся монотонным снижением показателя β_m с увеличением параметра режима $q \cdot V_{св}$;
- б) сплавы, имеющие оптимальное значение критического темпа растяжения на малых скоростях сварки.

2. На основе анализа технологической прочности как случайного явления впервые получена зависимость вероятности образования горячих трещин $P(-)$ от режима сварки, которая характеризуется S-образной кривой, разделяющей весь интервал используемых режимов сварки на три области:

- а) гарантированного отсутствия горячих трещин, $P(-)=0$;
- б) вероятностного возникновения трещин, $0 < P(-) < 1$;
- в) неизбежного образования трещин, $P(-)=1$.

При этом установлено, что расположение S-образной кривой на шкале режима сварки определяется способом сварки, составом сплава и типом конструкции.

3. Установлено, что при сварке труб из нержавеющей стали на станках АДС существует значительный (почти в 2 раза) резерв повышения производительности процесса, который может быть реализован при компенсации внешних возмущений в области вероятностного возникновения трещин.

4. Впервые получены количественные зависимости между отдельными параметрами физической модели "внешние возмущения - ванна - структура - технологическая прочность" пригодные для применения в системах автоматического управления. Установлено, что при сварке неплавящимся электродом с полным проплавлением наиболее значимое влияние на первичную структуру и технологическую прочность оказывают ширина обратного валика и длина кристаллизующейся части сварочной ванны, которые могут служить критерийными параметрами в АСУТП.

5. С использованием математических моделей, связывающих показатель технологической прочности и геометрические размеры сварочной ванны между собой и параметрами режима сварки, а также принципа обратной связи, разработан способ регулирования про-

цесса дуговой сварки, включающий непрерывную оценку запаса стойкости металла шва против образования горячих трещин по за- меряемым значениям критериальных параметров и его поддержание выше допустимого с учетом неуправляемых внешних возмущений.

6. В результате проведенных исследований разработан принцип обеспечения стойкости высоколегированных сталей против образова- ния горячих трещин при сварке на высокопроизводительных режимах путем:

а) выбора состава сплавов, обладающих минимальной чувстви- тельностью уровня их технологической прочности к изменению па- раметров режима сварки;

б) выбора наиболее производительного режима сварки, гаран- тирующего запас технологической прочности при компенсации внеш- них возмущений;

в) текущего поддержания уровня технологической прочности выше допустимого за счет автоматического изменения параметров режима сварки.

7. Результаты работы нашли применение при разработке новых материалов, выборе оптимальных режимов и создании АСУ ТП в судо- строительной, авиационной и трубной промышленности. Экономичес- кий эффект на одном предприятии составил 24,5 тыс. рублей в год.

Основное содержание диссертаций опубликовано в следующих работах:

1. Тихонов В.П., Якушин Б.Ф., Гаджиев Н.Г. Повышение про- изводительности и стойкости против трещин при сварке. - Извест- тия вузов.: Машиностроение, 1978, № 4, с. 144-148.

2. Якушин Б.Ф., Гаджиев Н.Г. Исследование комплексного влияния режимов и условий сварки на технологическую прочность металла шва. - Изв. вузов.: Машиностроение, 1979, № 10, с. 136-139.

3. Якушин Б.Ф., Гаджиев Н.Г., Обеспечение стойкости метал- ла шва кристаллизационным трещинам с помощью АСУ. - В сб. тез. докл. VI науч.-техн. конф., Калуга, 1980, с. II0-III.

4. Гаджиев Н.Г., Якушин Б.Ф. Предотвращение трещинообра- зования путем управления процессом дуговой сварки. - Энергети- ческое строительство, 1980, № 5, стр. 56-59.

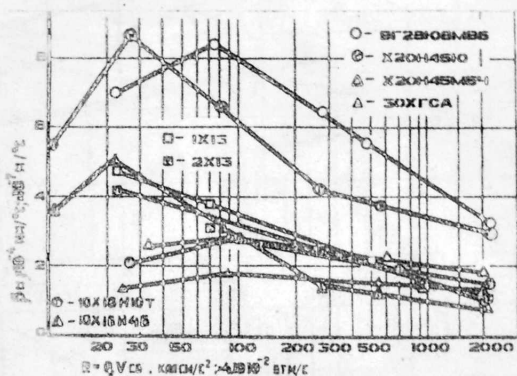


Рис. 1. Зависимости показателя технологической прочности от параметра режима $R = q \cdot V \cdot \cos \delta$ в полулогарифмической системе координат при сварке различных сплавов толщиной 3 мм с полным проплавлением.

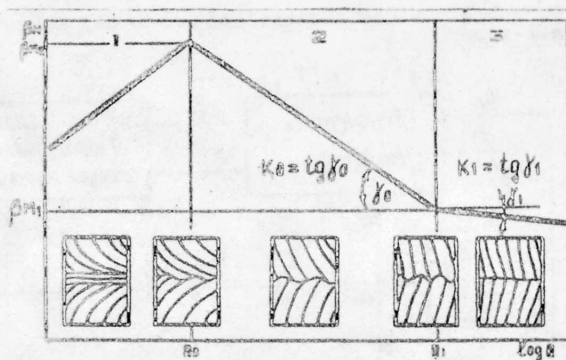


Рис. 2. Корреляция характера зависимости $\beta_m = f(R)$ со схемой кристаллизации.

$\beta_m, \beta_{m1}, R_0, R_1$ — характерные значения показателя технологической прочности и параметра режима сварки.

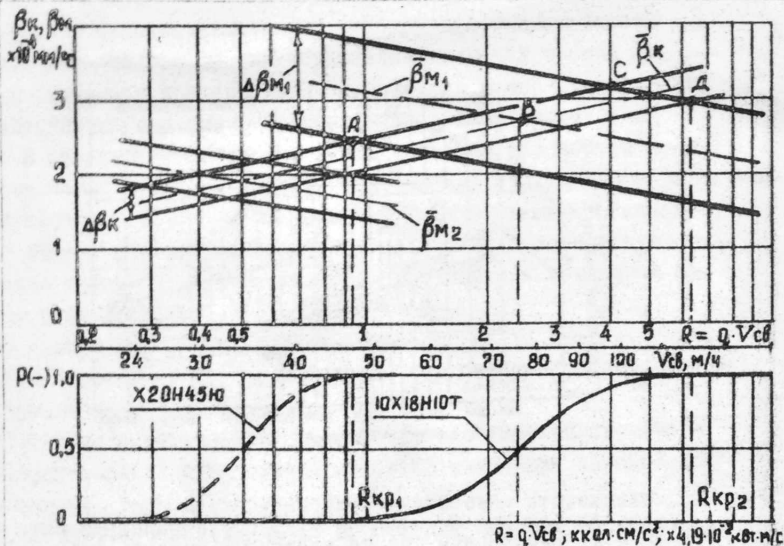


Рис. 3. Влияние режима сварки и внешних возмущений на величину запаса технологической прочности (а) и вероятность образования горячих трещин (б) при сварке труб

$\bar{\beta}_m, \bar{\beta}_k$ — средние арифметические значения деформационной способности металла шва и темпа деформаций, возникающий в нем

$\Delta\beta_m, \Delta\beta_k$ — разброс показателей β_m и β_k под действием внешних возмущений

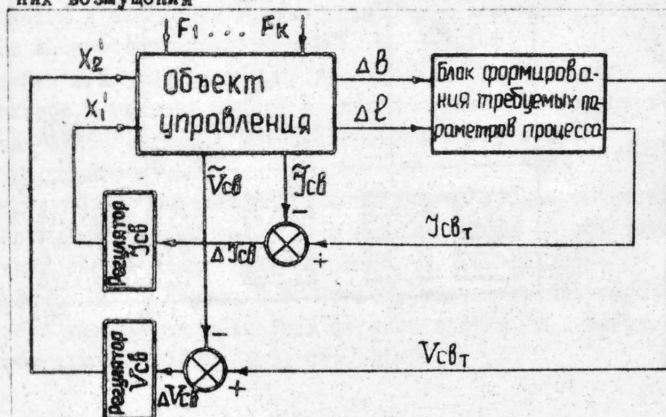


Рис. 4. Блок-схема системы управления технологической прочностью.

$\Delta\beta, \Delta\ell$ — отклонения ширины обратного валика и длины кристаллизующейся части сварочной ванны

$F_1 \dots F_k$ — внешние возмущения