М376105

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

М О С К О В С К О Е

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

На правах рукописи

ЛЬВОВ Виктор Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ ТРУБ ИЗ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ ТИПА 18-10 И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

05.04.05 – Технология и машины сварочного производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Москва 1981

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

М О С К О В С К О Е

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

На правах рукописи

ЛЬВОВ Виктор Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКИ ТРУБ ИЗ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ ТИПА I8-I0 И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

05.04.05 – Технология и машины сварочного производства

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

М376 105

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1376105
Львов В.Н. Исследование и р

Москва 1981

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Работа выполнена на Московском ордена Знак Почета трубном заводе.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор СТЕКЛОВ О.И.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор ПЕТРОВ А.В.
к.т.н., с.н.с. ЮХИН Н.А.

Ведущее предприятие: Первоуральский Новотрубный завод.

Защита диссертации состоится "__ " _____ 1981 г. на заседании специализированного Совета Д 053.15.07 по технологии и машинам сварочного производства Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции 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, просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан "____" _____ 1981 г.

Ученый секретарь
Специализированного Совета
д.т.н., доцент ГЛАДКОВ Э.А.

Подп.к печ. 18.05.81г Л-86186 Заказ 820 Объем 1 п.л.

Тираж 105 экз. Ротапринт МВТУ, 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., д.5

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие машиностроения, химической промышленности, энергетики и ряда других отраслей народного хозяйства требуют значительного увеличения выпуска электросварных труб из нержавеющих сталей.

Внедрение автоматизированных систем управления процессом аргонодуговой сварки и нового технологического оборудования позволяет значительно повысить производительность трубосварочных станов. Однако, увеличение скорости сварки и использование более форсированных токовых режимов приводит к снижению коррозионной стойкости сварного соединения и главным образом стойкости против межкристаллитной коррозии /МКК/.

В связи с этим актуальным является исследование причин, вызывающих снижение коррозионной стойкости сварных труб, разработка методов, позволяющих прогнозировать склонность сварного соединения к МКК, и внедрение технологических приемов, обеспечивающих проведение сварки на форсированных режимах без снижения качества сварного соединения.

Цель работы заключается в разработке высокопроизводительных технологических приемов аргонодуговой сварки нержавеющих труб, обеспечивающих повышение качественных показателей сварного соединения.

Методы исследования. В работе использовались основные положения физической химии, теории сварочных процессов, методы теории подобия, исследования математических моделей на ЭВМ, металлографические, электронно-микродифракционные, магнитометрические и рентгеновские методы, регрессионный и дисперсионный анализ, осциллографирование и фотосъемка.

Научная новизна. Новое решение актуальной научной задачи, заключающейся в установлении причин снижения коррозионной стойкости сварных соединений труб из хромоникелевых сталей типа 18-10 при сварке на форсированных режимах, состоит в установлении аналитической зависимости, связывающей режимы процесса сварки с количеством образующихся нитридов титана и склонность к МКК, полученной в результате исследования физико-химических процессов в сварочной ванне и совместного решения дифференциальных уравнений, описывающих процессы насыщения азотом металла сварочной

ванны и образования нитридов титана. Показано, что в зависимости от параметров режима аргонодуговой сварки до 80% азота, идущего на образование нитридов титана, поступает в сварочную ванну из окружающей среды.

Практическая ценность работы заключается в разработке методов оценки технологии процесса сварки по стойкости сварного соединения к МКК и в успешном внедрении новых технологических приемов, позволяющих повысить производительность аргонодуговой сварки нержавеющих прямошовных труб на трубоэлектросварочных станах Московского трубного завода.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы были доложены на научно-техническом семинаре "Повышение качества и эффективности сварочного производства на предприятиях г.Москвы" /г.Москва, МДНТП им.Дзержинского/ в апреле 1978 г., на техническом совете Московского трубного завода в феврале 1979 г. и на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им.Н.Э.Баумана в марте 1979 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов по работе и приложения. Выполнена на 156 страницах машинописного текста, содержит 58 рисунка, 17 таблиц и 123 наименований используемых источников.

Глава I. Технологические особенности процесса аргонодуговой сварки нержавеющих труб неплавящимся вольфрамовым электродом.

Процесс аргонодуговой сварки прямошовных труб из нержавеющих сталей должен удовлетворять ряду требований, из которых основными являются требование к качеству сварного соединения и требование к производительности процесса. В настоящее время в трубной промышленности применяются форсированные режимы сварки. Скорость сварки на трубосварочных станах АДС в 2-3 раза превышает скорость сварки других тонколистовых изделий из сталей того же класса. Анализ технологического процесса сварки труб показал, что при повышении скорости сварки значительно увеличивается вероятность появления дефектов сварного соединения за счет влияния технологических возмущений. В главе приведен ко-

личественный анализ производственных и эксплуатационных дефектов. Показано, что одним из наиболее распространенных и трудноустранимых эксплуатационных дефектов является межкристаллитная коррозия. Возникновение межкристаллитной коррозии сварного соединения в настоящее время является основной причиной, сдерживающей темпы повышения производительности трубосварочных станов.

Современные исследования коррозионных свойств хромоникелевых сталей, проведенные Г.В.Акимовым, А.П.Гуляевым и др., базируются на теории многоэлектродных систем. Она рассматривает нержавеющую сталь как трехэлектродную систему: зерно аустенита, карбиды хрома и железа по границам аустенита и обедненные хромом пограничные участки аустенита. Основной причиной образования МКК является выделение карбидов хрома по границам и, вследствие этого, обеднение хромом пограничных участков аустенитного зерна толщиной около 0,8 мкм.

Происходящие во время сварки сложные физико-химические превращения исследовались в работах Б.И.Медовара, О.И.Стеклова, Н.Ю.Пальчука, Ю.Ф.Юрченко, А.А.Ерохина, Л.Коломбье, Д.Сефериан и др. Установлено, что стойкость к МКК сварного соединения зависит от ряда факторов: содержания углерода в металле; содержания стабилизирующих элементов /Ti , Nв/; содержания ферритной составляющей; времени пребывания металла в зоне критических температур; условий газонасыщения расплавленного металла; вида термообработки. Опыт производства труб на Московском трубном заводе подтвердил основные положения механизма образования МКК применительно к производству нержавеющих труб. Однако было установлено, что помимо металлургических аспектов, склонность сварного соединения к МКК зависит от ряда факторов, определяющихся параметрами режима сварки. Поэтому для изучения существующей и перспективной высокопроизводительной технологии изготовления труб на станах АДС необходимо провести системное исследование комплекса: "исходный металл – режим сварки – структура и фазовые выделения – качество сварного соединения". Использование такого подхода особенно плодотворно при исследовании процесса сварки на токовых режимах свыше 250–400 А. Коррозионная стойкость металла шва существенно зависит от реальных размеров ванны, скорости сварки, защитной среды. В случае больших токовых режимов интенсифи-

пируется поглощение азота и образование нитридов титана. Возрастает значение стабильности химического состава металла трубной заготовки.

Современные тенденции развития сварочной техники и прогрессивной технологии вызывают необходимость построения автоматизированных систем управления технологическими процессами /АСУ ТП/. При построении АСУ ТП сварки труб на станах АДС необходимо в задачи управления вводить требование стабилизации показателей коррозионных свойств сварного соединения на заданном уровне и иметь количественное описание связи критериев, определяющих коррозионную стойкость и качество формирования шва, с параметрами процесса сварки.

В соответствии с изложенным в задачи работы входило:

I. Анализ путей повышения коррозионной стойкости сварных соединений труб из хромоникелевых сталей типа I8-I0.

2. Определение причин склонности сварного соединения к МКК при сварке на форсированных режимах на основе исследования кинетики фазовых выделений и идентификации кинетики для АСУ ТП.

3. Обоснование технологических способов повышения производительности АДС труб при заданных показателях качества.

Глава 2. Коррозионная стойкость сварного соединения электросварных труб из хромоникелевой стали типа I8-I0.

Статистическая обработка результатов испытаний на коррозионную стойкость сварных труб из стали I2XI8HI0T в заводской лаборатории Московского трубного завода показала, что 29% труб, сваренных по штатной технологии, не выдерживают испытаний по методу "АМ". Анализом химического состава исходного металла трубной заготовки было установлено, что основная причина, приводящая к снижению коррозионных свойств, заключается в повышенном содержании углерода и неудовлетворительном соотношении титана и углерода. На основе проведенного исследования были разработаны и внедрены рекомендации к входному контролю химического состава рулонной ленты.

I. Лента хорошего качества /содержание углерода C=0,06 - 0,07% и отношение титана к углероду $Ti/C \geq 6$/.

2. Лента удовлетворительного качества /C=0,08-0,09% и

Ti /C ≥ 6/.

3. Лента среднего качества /C=0,08-0,09% и 5,5 ≤ Ti/C≤6/.

4. Лента неудовлетворительного качества /C=0,09-0,1% и выше; Ti/C ≤ 5,5/.

Для производства труб на форсированных режимах сварки с гарантированными показателями коррозионной стойкости в качестве дополнительного требования выдвинуто ограничение количества связанного титана в нитридах, оксидах и интерметаллидах величиной, не превышающей 0,1%.

В главе приведено исследование влияния параметров режима процесса сварки на коррозионную стойкость сварного соединения. Для количественной оценки МКК использовались глубина МКК /Нк/ и убыль толщины металла / δ /. Характер полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что наиболее обобщенной характеристикой процессов плавления в сварочной ванне является время пребывания металла / $t_{ср}$/ в расплавленном состоянии, которое зависит от параметров режима сварки. Полученные зависимости можно использовать для расчета коррозионных характеристик сварного соединения.

Математический аппарат теории сварочных процессов позволяет непосредственно вычислить $t_{ср}$, исходя из режимов процесса сварки.

Электронномикроскопический и электронографический анализ металла шва показал, что с ростом сварочного тока изменяются его структура и фазовый состав, а также количество азота, поглощенного сварочной ванной из атмосферы. Огрубляются выделения δ - феррита, образуются нитриды, карбиды и интерметаллиды титана.

Результаты исследования газонасыщенности металла шва показывают, что с изменением параметров режима сварки содержание кислорода и водорода изменяется несущественно. Значительно интенсивнее при вариации параметров режима сварки изменяется концентрация азота в металле шва. Образующиеся фазовые выделения в основном являются соединениями титана с углеродом, никелем и азотом. В результате твердый раствор металла шва обедняется титаном и склонность сварного соединения к МКК увеличивается.

Параллельно с испытанием коррозионных свойств в работе проведено исследование механических характеристик сварного сое-

динения труб в зависимости от параметров режима сварки. Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод о том, что для увеличения стойкости металла шва против коррозии и повышения его механических свойств необходимо выбирать такое соотношение параметров режима сварки, при котором наблюдается снижение количества фазовых выделений. Этого можно достигнуть за счет технологических приемов, обеспечивающих минимальные размеры сварочной ванны и наименьшее время пребывания металла в жидком состоянии.

Глава 3. Расчетно-экспериментальные исследования кинетики образования нитридов титана в шве в процессе сварки.

Количество нитридов титана, образовавшихся в металле шва, зависит от соотношения двух взаимосвязанных процессов: поглощения азота жидким металлом сварочной ванны и образования нитридов титана. Для анализа влияния существующей технологии сварки на качество сварного соединения и оценки эффективности перспективной технологии сварки в работе изучалась количественная связь, описывающая процесс образования нитридов с учетом реальных размеров сварочной ванны, токовых режимов, скоростей сварки, качества защитной атмосферы.

Расчетная методика, предложенная А.А.Ерохиным, позволяет определять концентрацию азота в металле шва для режимов аргонодуговой сварки на токах до 100 А. Однако экспериментальная проверка расчетных результатов при сварке на форсированных режимах показала, что концентрация азота связана квадратичной зависимостью с величиной сварочного тока.

В общем виде для произвольного объема жидкого металла дифференциальное уравнение, описывающее процесс образования нитридов титана имеет вид:

$$\begin{cases} v\dfrac{dC^N}{dt} = \beta' F(S_1 - C^N) - \beta'' F'(C^N - S_2) \\ \dfrac{dC^{TiN}}{dt} = K(C_0^N - C^{TiN})(C_0^{Ti} - C^{TiN}) \end{cases} \qquad /I/$$

где V – рассматриваемый объем жидкого металла;

C^N, C^{TiN} – текущие концентрации азота и нитридов титана;

S_1 – концентрация азота на поверхности жидкого металла в зоне абсорбции;

S_2 – стандартная растворимость азота без учета дугового процесса;

β', β'' – коэффициент массопереноса при абсорбции и десорбции;

F, F' – площадь абсорбции и десорбции;

C_o^N, C_o^{Ti} – общие концентрации азота и титана;

K – константа скорости реакции.

Интегрирование уравнений / I / проводилось совместно с инженером Сас А.В. численным методом с использованием геометрической модели сварочной ванны /рис.I/. Головной участок сварочной ванны представлен частью сферической поверхности с радиусом В, а хвостовая часть – элементом конуса с высотой L. В зоне анодного пятна происходит абсорбция азота, в хвостовой части сварочной ванны – десорбция. Интегрирование проводится по координате Х, которая совпадает с продольной осью сварочной ванны. Величина шага интегрирования выбиралась переменной из условий постоянства времени пребывания расплавленного металла на каждом шаге. Линеаризация уравнений проводилась по методу Тейлора. Решение уравнений / I / на ЭВМ позволило установить связь количества нитридов титана в шве с режимами процесса сварки. Для экспериментальной проверки результатов расчета было проведено исследование количества азота в шве по методу вакуумного плавления и химическому методу Кьельдаля. Содержание нитридов титана определялось электрохимическим и расчетным способами /рис.2/. Расхождение расчетных и экспериментальных зависимостей составило не более I0%.

На основе уравнений / I / была получена линейная математическая модель, дающая возможность оценить стойкость сварного соединения к МКК в системе управления качеством процесса сварки труб на станах АДС.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями процесса поглощения азота сварочной ванны установлено, что 80% общего количества азота в шов поступает во время сварки. Следовательно, при повышении производительности и улучшении качества сварного

соединения труб из хромоникелевых сталей требуется применение специальных устройств для защиты зоны сварки от окружающей среды.

В главе приведено экспериментальное исследование по оценке количества интерметаллидов и оксидов в металле шва. Установлено, что содержание δ - феррита в швах труб из стали I2XI8HIOT составляет I,5-5,0%, следовательно, на образование интерметаллидов затрачивается не более 2% стабилизирующего титана. Газовый анализ сварного соединения показал, что максимальное количество титана, связанного в оксиды, не превышает 0,025%. Поэтому наиболее опасным выделением в металле шва труб, связывающим титан твердого раствора, следует считать соединение титана с азотом. Образовавшиеся при сварке нитриды титана не растворяются при последующей термической обработке труб.

Существующими техническими условиями не предусмотрено ограничение содержания азота в исходном металле. Исследование склонности металла к МКК на форсированных режимах сварки показало, что необходимо ограничивать количество азота до 0,006%. Снижение содержания азота в рулонной ленте улучшает свариваемость металла и уменьшает вероятность образования подрезов. Кроме того, фазовый анализ исходного металла позволил установить, что в результате металлургических процессов /в отдельных плавках рулонной ленты/ до 40% стабилизирующего титана связано в нитриды /карбонитриды/. В работе предложено определять степень стабилизации металла шва титаном соотношением:

$$\xi = \frac{\%\ Ti_{св}}{4\,(\%C - 0{,}02\%)}, \qquad /\,2\,/$$

где C - содержание углерода;

$Ti_{св}$ - содержание свободного и связанного в карбиды титана.

Для аргонодуговой сварки рекомендуемое соотношение / 2 / должно быть не менее I,2.

Глава 4. Разработка и исследование технологических приемов, повышающих производительность процесса сварки нержавеющих труб на станах АДС.

Результаты проведенных исследований использованы при разработке технологических приемов, повышающих производительность и коррозионную стойкость сварных соединений труб при сварке на форсированных режимах. Для улучшения защиты сварочной ванны от окружающей среды была спроектирована и внедрена новая сварочная аргонодуговая горелка. Снижение степени турбулентности течения аргона обеспечивается наличием трех успокоительных камер. На основе аэродинамических соотношений рассчитано сопло горелки. Профиль сопла, изготовленный по кривой Витошинского, обеспечивает плавное изменение струи аргона и формирует на срезе сопла сплошной поток с равномерной скоростью истечения. Система водоохлаждения горелки выполнена таким образом, что нагрев вольфрамового электрода при токах сварки более 400 А не превышает 500°С.

Совместно с Ковалевым И.М. было проведено исследование способа управления сварочной дуги постоянным поперечным магнитным полем /ПМП/. В отличие от обычной дуги, факел которой с ростом скорости сварки отклоняется в сторону фронта кристаллизации, факел дуги в ПМП может быть направлен на холодные кромки перед фронтом плавления сварочной ванны. Направление силы давления отклоненной дуги создает горизонтальную составляющую, что приводит к улучшению формирования сварного шва. Однако, при сварке в ПМП увеличивается длина сварочной ванны и уменьшается глубина проплавления. Уменьшение глубины проплавления компенсируется приращением сварочного тока. Рост сварочного тока и длины дуги ухудшает защиту ванны струей аргона, увеличивает объем сварочной ванны, что приводит к росту интервала времени пребывания металла ванны при высоких температурах. В связи с этим ход физико-химических и металлургических процессов интенсифицируется. Возрастает вероятность снижения коррозионной стойкости сварного соединения. Для снижения МКК было разработано и внедрено на трубоэлектросварочных станах хвостовое защитное устройство типа "башмак". Защитное устройство обеспечивает ло-

кальную защиту хвостовой части сварочной ванны и предотвращает снос струи аргона, вытекающего из сопла горелки. Устройство снабжено механизмом пространственной ориентации.

Эффективным технологическим приемом, обеспечивающим повышение стабильности формирования шва при сварке на форсированных режимах с ПМП, явилось применение вольфрамовых электродом с отогнутым рабочим концом. Угол наклона рабочего конца электрода выбирается равным углу отклонения сварочной дуги в ПМП. Для придания необходимых геометрических форм вольфрамовому электроду была разработана и внедрена специальная машина, осуществляющая деформирование концов электродов в широком диапазоне углов.

Одним из наиболее эффективных приемов, повышающих производительность процесса аргонодуговой сварки, является предварительный подогрев свариваемых кромок токами высокой частоты /ТВЧ/. Температура предварительного подогрева определяется из условия обеспечения механической устойчивости кромок. В работе приведен анализ влияния предварительного подогрева на коррозионную стойкость сварного соединения. Для обеспечения равномерного нагрева необходимо правильно выбрать частоту ТВЧ. Глубина нагрева является основным параметром, оценивающим степень проявления поверхностного эффекта. На Московском трубном заводе до настоящего времени применяли предварительный подогрев на частоте f = 440 кГц. Анализом тепловой обстановки в зоне сварки было установлено, что при данной глубине нагрева невозможно обеспечить требуемый термический цикл свариваемых кромок. Расчеты показали, что для обеспечения условия устойчивости кромок и удовлетворительной коррозионной стойкости сварного соединения необходимо предварительный нагрев осуществлять на частоте f = 70 кГц. Для расчета температурного поля кромок трубы выбрана схема быстродействующего полосового источника тепла. Наиболее высокая температура на длине нагреваемых кромок достигается в точке схода, находящейся под нагревом в течение максимального времени. Расчет нагрева стыка кромок и предельного распределения температуры, проведенный на ЭВМ, удовлетворительно подтверждается замерами температуры с использованием быстродействующего фотоэлектрического пирометра /ФЭП-4/. Расхождение результатов расчета и измерения не превышает 10 %. Предложенная расчетная методика

позволяет достаточно точно определить повышение теплосодержания свариваемых кромок, вычислить значение сварочного тока и температуру предварительного подогрева. Кроме того, полученная зависимость позволяет осуществлять расчеты места установки индуктора генератора ТВЧ. В результате проведенных исследований была проведена реконструкция стана "20-102" АДС, предусматривающая установку генератора с частотой тока 70 кГц.

Предварительный подогрев основного металла вызывает изменение геометрических размеров сварочной ванны и уменьшение скорости охлаждения закристаллизовавшегося металла. Анализ металла шва показал, что при сварке хромоникелевых сталей изменение скорости охлаждения незначительно влияет на вторичную структуру шва, а в основном оказывает влияние на полноту выделений избыточных фаз по границам зерен аустенита, что снижает стойкость металла шва к МКК. Поэтому выбор температуры предварительного подогрева следует осуществлять в соответствии с технологическими режимами процесса сварки, рассчитанными исходя из обеспечения коррозионной стойкости сварного соединения.

Экспериментальными исследованиями установлено, что изменение режима сварки и температуры предварительного подогрева оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства сварных соединений труб. Возрастание сварочного тока и предварительный подогрев 500-600^{o}C приводят к объемной схеме кристаллизации, при которой все большее количество кристаллов пересекает поверхность фронта кристаллизации. Увеличивается количество мелкодисперсного сложного дендритообразного карбида $Me_{23}C_6$, нитридов и интерметаллидной фазы Ni_3Ti. Выделенные высокотемпературные фазы становятся разветвленными и могут служить зародышами микротрещин. При последующей термической обработке эти фазы растворяются лишь частично, оставаясь концентраторами напряжений. Кроме того, увеличение давления дуги на жидкий металл способствует снижению толщины жидкой прослойки расплавленного металла под дугой и ведет к переносу большего количества перегретого металла ванны из головной части в хвостовую. Это приводит к значительному увеличению доли высокотемпературных разветвленных фаз. На фоне снижения градиента температур, вызванного влиянием предварительного нагрева, повышается вероят-

ность образования рыхлот и микропустот. Поэтому необходимо выбирать такие режимы сварки, при которых в структуре металла шва отсутствуют разветвленные высокотемпературные фазы. Исследования влияния состава металла на МКК показали, что, если содержание углерода в металле трубной заготовки не превышает 0,09% и отношение Ti /C ≥ 6, трубы, сваренные на форсированных режимах с применением предварительного подогрева, выдерживают испытание на МКК по методу "АМ".

На основе проведенных исследований были определены оптимальные режимы сварки труб из нержавеющих сталей и составлены технологические инструкции с учетом обеспечения коррозионной стойкости металла шва.

Внедрение эффективных технологических приемов позволило повысить производительность трубоэлектросварочных станов Московского трубного завода в среднем на 30% без снижения коррозионной стойкости сварного соединения, что дало экономический эффект около 200 тысяч рублей в год.

ВЫВОДЫ

I. На основе анализа существующей и перспективных высокоскоростных технологий изготовления труб на станах АДС показано, что необходимым условием повышения стойкости сварного соединения хромоникелевых труб из стали типа I8-I0 к МКК является использование исходного металла, отвечающего следующим требованиям:

а/ содержание углерода должно быть C = 0,06-0,08%;

б/ отношение титана к углероду должно составлять более шести /Ti/C ≥ 6/.

в/ количество связанного титана в нитридах, оксидах и интерметаллидах не должно превышать 0,I%.

2. Установлена зависимость коррозионных свойств металла шва труб от технологических параметров режима сварки.

Стойкость сварного соединения против МКК в значительной мере определяется весом ванны и временем пребывания металла в жидком состоянии, так как с увеличением веса ванны и времени пребывания металла в жидком состоянии огрубляются выделения δ - феррита, усложняется фазовый состав металла шва в результате образования нитридов, карбидов и интерметаллидов и возрастает

количество поглощенного азота, что подтверждено металлографическими исследованиями структуры металла шва и электронно-микродифракционным анализом его фазового состава.

3. Экспериментально установлено, что максимальное количество титана, связанного в оксидах и интерметаллидах, не превышает 0,03% и, поэтому доминирующим процессом, определяющим снижение коррозионных свойств сварного соединения при АДС на форсированных режимах, следует считать процесс образования нитридов титана.

4. Аналитическими методами определена зависимость коррозионной стойкости сварного соединения от параметров режима сварки. Совместное решение дифференциальных уравнений, описывающих процессы насыщения азотом расплавленного металла сварочной ванны и образования нитридов титана, дает возможность прогнозировать коррозионную стойкость сварного соединения и использовать результаты расчетов в АСУ ТП при создании системы управления качеством процесса сварки труб на станах АДС.

5. С целью повышения производительности процесса сварки труб проведено исследование технологических приемов, обеспечивающих коррозионную стойкость сварного соединения. Установлены следующие требования к технологическому процессу сварки:

а/ при использовании постоянного поперечного магнитного поля для обеспечения стабильного формирования шва на форсированных режимах требуется применение дополнительных защитных устройств, обеспечивающих защиту зоны сварки от влияния окружающей среды;

б/ средняя температура цилиндрической части вольфрамового электрода /сварочной горелки/ не должна превышать 400-500°С, а расстояние от среза сопла до изделия не должно быть более 10-12 мм;

в/ выбор частоты тока для предварительного подогрева кромок определяется из условия устойчивости кромок трубной заготовки, минимального градиента температуры в зоне шва и отсутствия разветвленных высокотемпературных фаз в металле шва.

6. Внедрение технологических приемов, обеспечивающих проведение процесса сварки труб на форсированных режимах, позволило повысить производительность четырех трубоэлектросварочных станов на 30%, улучшить коррозионную стойкость сварного соедине-

ния и получить экономический эффект на Московском трубном заводе около 200 тысяч рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

I. Львов В.Н. и др. Комплексно-механизированное производство электросварных труб из нержавеющих сталей и сплавов аргонодуговым способом на трубоэлектросварочных станах Московского трубного завода. /В.Н.Львов, И.А.Гуслистов, А.В.Чернов. - В сб. Повышение качества и эффективности сварочного производства. М., МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского, 1978, с.32-37.

2. Ковалев И.М. и др. Влияние движения металла в сварочной ванне на устойчивость дуги и формирование шва. /И.М.Ковалев, Е.М.Кричевский, В.Н.Львов. Сварочное производство, 1974, № 11, с.5-7.

3. Ковалев И.М. и др. Аргонодуговая сварка труб из стали Х18Н10Т неплавящимся электродом с формированием шва в поперечном магнитном поле. /И.М.Ковалев, Е.М.Кричевский, В.Н.Львов. - Сварочное производство, 1975, № 5, с.15-17.

4. Влияние параметров аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на коррозионные свойства и структуру сварных швов труб из стали 12Х18Н10Т. /В.Н.Львов, Е.М.Кричевский, С.Л.Войцеленок и др. - Сварочное производство, 1977, № 1, с.26-28.

5. Горелка для сварки в защитных газах стабилизированной дугой. /И.М.Ковалев, А.С.Рыбаков, В.Н.Львов и др. - Сварочное производство, 1977, № 12, с.48.

6. Устройство для защиты ванны при сварке труб из стали 12Х18Н10Т. /И.М.Ковалев, А.С.Рыбаков, В.Н.Львов и др. - Сварочное производство, 1977, № 3, с.47-48.

7. А.С. 567573 /СССР/. Неплавящийся электрод. /И.М.Ковалев, А.С.Рыбаков, В.Н.Львов и др. - Опубл. в Б.И., 1977, № 29.

8. А.С. 574250 /СССР/. Способ изготовления прямошовных труб. /И.М.Ковалев, А.С.Рыбаков, В.Н.Львов и др. - Опубл. в Б.И., 1977, № 36.

9. А.С. 616075 /СССР/. Способ дуговой сварки. /И.М.Ковалев, А.С.Рыбаков, В.Н.Львов и др. - Опубл. в Б.И., 1978, № 27.