

М464643

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ
УЧИЛИЩЕ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

ГОНЧАРОВ ЮЛИЙ ГЕРАСИМОВИЧ

УДК 621.791:629.45

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ
В КОНСТРУКЦИЯХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ
ПУТЕМ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО
ОБОСНОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ

(Специальность 05.03.06 - Технология и машины
сварочного производства)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте вагоностроения (Калининский филиал)

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
КИСЕЛЕВ С.Н.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор ВЕРШНИНСКИЙ А.В.
к.т.н., с.н.с. ГЕРАСИМЕНКО Г.И.

Ведущее предприятие - Ордена Ленина Калининский вагоностроительный завод им.М.И.Калинина

Защита диссертации состоится "17" декабря 1987 г. на заседании специализированного Совета Д 053.15.03 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваш отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ.

Автореферат ра

Учёный секретарь
специализированного
д.т.н., п

Д-45153 Подп. к п
Типография МВТУ,

М464643

Актуальность работы. Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986-1990 гг. и на период до 2000 года ставится задача повышения технического уровня продукции, выпускаемой в машиностроении. Одним из актуальных направлений этой задачи является создание и организация производства облегченных пассажирских вагонов повышенной надежности. Это диктуется выдвигаемыми условиями эксплуатации вагонов, требующими повышения скоростей движения поездов, интенсификации пассажирских перевозок и расширения их диапазона, в том числе связанного с развитием сети железных дорог в Северо-Восточных районах нашей страны, где наиболее неблагоприятные условия эксплуатации, обусловленные низкой температурой в зимний период.

Одним из основных факторов, определяющих металлоемкость пассажирских вагонов, является коррозионный износ. Несмотря на наличие защитного покрытия (грунтовка, окраска) наиболее интенсивно корродирующими элементами и по этой причине преждевременно теряющими свою несущую способность являются в конструкциях вагонов обшивка и каркас кузова.

Известным конструктивным решением, исключающим увеличение металлоемкости вагона, обусловленное коррозионными потерями металла, является применение в качестве конструкционного материала нержавеющей стали. При этом перспективной тенденцией по экономическим соображениям считается изготовление комбинированных вагонов с использованием нержавеющей стали для наиболее корродирующих элементов кузова.

Государственным комитетом по науке и технике (ГКНТ) было принято Постановление от 21 ноября 1975 г. № 500 - создать и освоить производство пассажирского вагона локомотивной тяги, некупейного, с кузовом из безникелевой нержавеющей стали. Настоящая работа являлась этапом комплексных исследований, проводимых по программе ГКНТ и Госплана СССР в целях решения названной проблемы, и посвящалась повышению прочности и работоспособности сварных соединений разнородных сталей в конструкциях пассажирских вагонов.

Цель работы заключалась в разработке, на основе теоретического и экспериментального исследований тепловых и деформационных процессов при сварке, а также определения комплекса

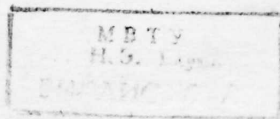
I

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1464643

Гончаров Ю.Г. Повышение пр



характеристик сварных соединений, технологии сварки в углекислом газе разнородных сталей ЮХІЗГІ8Д (ДІ-6І), 09Г2Д и ВСтЗсп, обеспечивавшей их работоспособность в условиях эксплуатации вагонов.

Методы исследования, применявшиеся в работе: метод конечных элементов с использованием ЭВМ, математический метод планирования эксперимента и статистическая обработка результатов, механические испытания образцов на статическое растяжение и ударный изгиб с тензометрированием процесса разрушения, металлографический и микро- рентгеноспектральный анализ, измерение микротвердости, количественный метод оценки сопротивляемости сварных соединений горячим трещинам, усталостные испытания с использованием метода математической статистики, измерение электролитных потенциалов, коррозионные испытания образцов.

Научная новизна. Разработаны методические и теоретические основы построения технологии сварки и обеспечения работоспособности сварных соединений разнородных сталей применительно к вагонным конструкциям, заключающиеся:

- в теоретическом и численном анализе температурных полей, напряжений и деформаций в сварных соединениях новой хромомарганцевой стали ЮХІЗГІ8Д со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп, проведенном с использованием современных математических методов и ЭВМ. Установлено, что максимальная скорость поперечной деформации наблюдается в центре шва и составляет в ТИХ 0,0015 1/с;

- в установлении необходимого уровня работоспособности сварных соединений из исследованных разнородных сталей по критериям статической прочности, ударной вязкости, сопротивлению усталости, коррозионной стойкости и технологической прочности.

Практическая ценность работы. На основании выполненных исследований разработаны технические требования и рекомендации, которые внесены в отраслевой стандарт "Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования" (ОСТ 24.050.34-84) в разделы: "Основные мероприятия по снижению деформаций и напряжений в сварных конструкциях", "Обработка и сборка под сварку", "Сварка коррозионно-стойких (нержавеющих) сталей".

Результаты работы использованы в конструктивных и технологических решениях при изготовлении пассажирских вагонов (модели 6І-806 и 6І-836) с применением безникелевой нержавеющей стали

на Калининском вагоностроительном заводе. Экономический эффект на годовую программу выпуска вагонов составляет 4,4 млн.р.

Апробация. Результаты диссертационной работы были доложены на Юбилейной научно-технической конференции "Проблемы развития вагоностроения" во Всесоюзном научно-исследовательском институте вагоностроения (г.Москва, 1983 г.), на Всесоюзной научно-технической конференции НТО Машпром "Экономия металла в машиностроении методами сварки" (г.Воронеж, 1983 г.), на Всесоюзной конференции "Проблемы сварки и специальной электрометаллургии" в Институте электросварки им.Е.О.Патона АН СССР (г.Киев, 1984г.), на научно-техническом совете Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения (г.Москва, 1985 г.), на секции НТС Калининского филиала Всесоюзного научно-исследовательского института вагоностроения (г.Калинин, 1986 г.), на заседании кафедры "Материаловедение и технология конструкционных материалов" Московского института инженеров железнодорожного транспорта (г.Москва, 1986 г.), на научном семинаре кафедры АМ-7 МВТУ им.Н.Э.Баумана (г.Москва, 1987 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, списка литературы и приложения. Выполнена на 147 машинописных листах, содержит 65 рисунков, 26 таблиц, 116 наименований используемых литературных источников.

Во введении обоснована актуальность работы и изложены предпосылки ее проведения.

В главе I приведены основные требования к сварным конструкциям и элементам пассажирских вагонов, даны характеристики сталей, применяемых и рекомендуемых для изготовления вагонов, анализируются литературные данные по свариваемости разнородных сталей аустенитного и перлитного классов, по механическим свойствам и работоспособности их сварных соединений, по исследованию температурных полей, сварочных деформаций и напряжений.

С учетом технических требований для пассажирских вагонов перспективной и экономически оправданной является конструкция вагона, в которой наряду с традиционной для вагоностроения низколегированной сталью марки 09Г2Д по ГОСТ 19291-73 и ГОСТ 19282-73 используется новая безникелевая нержавеющая сталь марки 10Х13Г18Д (ДИ-61) по ТУ 14-1-2643-79. Сталь ДИ-61 следует использовать для тонких, наиболее повреждаемых коррозией в

процессе эксплуатации, элементов кузова (обшивка, стойки и др.), а сталь 09Г2Д — для металлоемких и менее подверженных коррозионному воздействию элементов (элементы рамы, противоударные стойки и др.). Допускается применение стали марки ВСтЗсп по ГОСТ 380-71.

Стали ДИ-6Г и 09Г2Д, ВСтЗсп относятся к разным структурным классам, соответственно аустенитного и перлитного. В решении проблем сварки плавлением разнородных металлов большой вклад внесли работы советских ученых Н.О.Окерблома, В.Н.Земзина, Г.Л.Петрова, А.М.Макары, Ю.Н.Готальского, С.Н.Киселева, Л.С.Лифшица, В.Р.Рябова, И.А.Закса и др., а также ряда зарубежных ученых.

Литературный анализ показал, что теплофизическое и химико-металлургическое воздействие на металлы в процессе сварки и конструктивные особенности сварных соединений из разнородных сталей приводят к появлению в них зон с различного вида макро- и микронеоднородностями: структурной, химической и механической. Эти неоднородности являются основными факторами, влияющими на механические свойства и работоспособность сварных соединений, и в каждом случае, в основном, определяются химическим составом сталей и технологией сварки. Остаточные растягивающие напряжения, возникающие в результате сварки, являются существенным фактором, влияющим на эксплуатационные характеристики: сопротивление усталости и коррозионную стойкость сварных соединений. При проведении исследований особое внимание должно уделяться зоне сплавления разнородных металлов, разрушения по которой являются наиболее вероятными в первую очередь при наличии в ней развитых диффузионных и малопластичных структур. Имеющаяся информация по сварке разнородных сталей недостаточна для обоснования технологии сварки безникелевой хромомарганцевой нержавеющей стали ДИ-6Г со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп и эксплуатационной надежности их сварных соединений в конструкциях пассажирских вагонов.

В соответствии с изложенным сформулированы следующие задачи исследования:

1. Проведение аналитических, численных и экспериментальных исследований тепловых и деформационных процессов при сварке элементов из разнородных сталей.

2. Разработка методик и проведение исследований механических свойств и технологической прочности сварных соединений,

включающих в себя:

- исследования временного сопротивления разрыву и ударной вязкости сварных соединений;
- исследования структуры и твердости сварных соединений;
- исследования сопротивляемости металла шва образованию горячих трещин.

3. Разработка методик и исследования основных показателей работоспособности сварных соединений: сопротивления усталости и коррозионной стойкости.

4. Разработка основных положений технологии сварки в углекислом газе.

5. Разработка нормативно-технической документации и внедрение технологических рекомендаций в производство.

В главе 2 исследовались тепловые и термомеханические процессы при дуговой сварке плавящимся электродом в углекислом газе разнородных сталей ДИ-6Г и 09Г2Д. Проведены расчеты температурных полей на основе ранее полученных аналитических решений, выполненных с рядом допущений. Показано удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных данных. Далее в основу исследований был положен метод конечных элементов (МКЭ), как универсальный метод описания сложных тепловых и деформационных процессов. Для анализа последних использовался комплекс программ, разработанный в научно-исследовательском и конструкторском институте монтажной технологии (НИКИМТ).

Уравнение нестационарной теплопроводности, учитывающее наличие источника теплоты и теплообмен с окружающей средой, принималось в виде:

$$\operatorname{div} [\lambda(r) \operatorname{grad} T] + Q = \frac{\partial}{\partial t} [\rho(r) T]$$

где $T = f(x, y, t)$.

Задача решалась при следующих начальных и граничных условиях:

$$\lambda(r) \frac{\partial T}{\partial n} + h (T - T_{\text{ср}}) = C;$$

$$T(x, y, 0) = \varphi(x, y)$$

где T - температура;

h - коэффициент теплообмена;

λ - коэффициент теплопроводности;

Q - удельная мощность вводимого тепла в единице объема;

$T_{\text{ср}}$ - температура окружающей среды;

t - время действия источника тепла.

Исследования проводились на пластинах толщиной 4 мм из сталей 09Г2Д и ДИ-6І, что соответствует толщине этих материалов в конструкции вагонов, с учетом изменения теплофизических характеристик в зависимости от изменения температуры. Принималось, что теплообмен с окружающей средой осуществлялся свободно через верхнюю и нижнюю поверхности пластин. Теплоотдачей с торцевых поверхностей пренебрегали ввиду их относительной малости. Параметры сварочного процесса принимались по экспериментальным исследованиям из условия обеспечения устойчивого горения дуги, качественного формирования шва и полного провара соединяемых элементов: $Q = 5700 \text{ Дж/с}$, $V_c = 0,008 \text{ м/с}$.

Свариваемые пластины размерами 290х95х4 мм, согласно МКЭ, представлялись в виде дискретной модели, состоящей из отдельных угловых элементов с общими границами и узлами. Количество элементов составляло 774, узлов — 411. В зонах, прилегающих к линии движения источника тепла, элементы принимались минимальными по высоте, равной 2,5–4 мм, и по форме, приближенной к равностороннему треугольнику, с целью получения более точных результатов в зоне высоких градиентов температур, деформаций и напряжений.

Для проверки адекватности расчетной модели реально протекающим тепловым процессам проводились экспериментальные измерения температур при сварке на режиме, принимавшемся в расчете. Для замера температур использовались хромель-алюмелевые термодпары, осциллограф типа Н10 и шлейфовые гальванометры типа МО44 группы ОІ5.

Исследованиями установлены особенности температурного поля при сварке аустенитной стали ДИ-6І с низколегированной сталью 09Г2Д. Температурное поле асимметрично относительно оси шва (рис.І). Ширина изотерм в аустенитной стали ДИ-6І на 9–13% больше, чем в низколегированной стали 09Г2Д. Квазистационарное состояние поля устанавливается через 10с с момента начала сварки. При кристаллизации металла шва скорость охлаждения составляет 110–120°С/с. Ширина зоны, в которой, по литературным данным, можно ожидать понижения пластичности стали ДИ-6І вследствие ее нагрева в интервале температур 700–800°С, ограничивается 13-ю мм от оси шва. Время пребывания стали в этом интервале температур не превышает 6с. При таком кратковременном нагреве пластические свойства стали не изменяются.

Для той же модели на основе МКЭ проведен численный анализ временных и остаточных напряжений и деформаций при сварке разнородных сталей*. Установлено, что впереди движущегося источника теплоты (в зоне нагрева) возникают продольные деформации укорочения и поперечные деформации удлинения. Максимальная скорость поперечных деформаций наблюдается в начале шва и достигает 0,0022 1/с (рис.2), при этом в температурном интервале хрупкости (ТИХ) она составляет 0,0015 1/с.

Уровень остаточных продольных и поперечных деформаций в стали ДИ-6Г на 20-30% выше, чем в стали 09Г2Д. Характер распределения остаточных сварочных напряжений в разнородных соединениях из сталей ДИ-6Г и 09Г2Д в целом идентичен характеру их распределения в однородных соединениях. Отличительная особенность распределения напряжений в разнородных сварных соединениях — наличие асимметрии эпюр относительно продольной оси шва.

Для экспериментальной оценки величины и характера остаточных деформаций и напряжений изготавливались сварные образцы размером 310х250х4 мм. Для регистрации продольных деформаций использовался деформометр с базой 200 мм. Регистрация поперечных деформаций осуществлялась тензодатчиками сопротивления с базой 10 мм. Для замера остаточных поперечных деформаций использовался статический измеритель деформаций марки ИСА-3 с индивидуальным питанием. Коммутация цепей осуществлялась с помощью специально изготовленного переключателя на магнитоуправляемых контактах (герконах). Сходимость результатов экспериментального и численного исследований удовлетворительная.

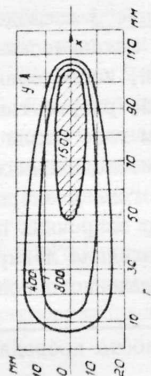
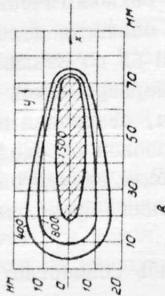
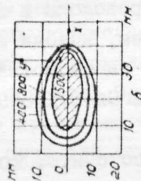
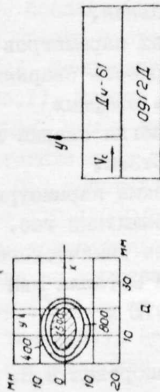
В главе 3 исследовано влияние технологических параметров сварки на механические свойства, структуру и твердость сварных соединений, исследована технологическая прочность сварных соединений, разработаны основные положения технологии сварки в углекислом газе стали ДИ-6Г со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп.

При исследованиях варьировались технологические параметры сварки: погонная энергия, сварочная проволока и защитный газ.

Выбор сварочных проволок определен, исходя из химического состава, влияния легирующих элементов на свойства металла шва и их промышленного освоения. Проволоки Св-07Х18Н9ТЮ и

*) Работа проводилась совместно со с.н.с. Топоровым В.В. (НИКИМТ)

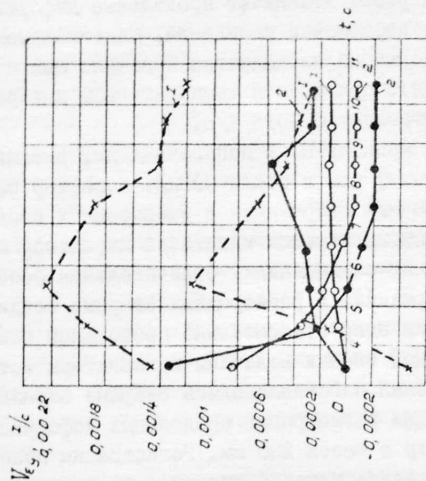
Расчётные изотермы температурного поля



а - через 2с, б - через 4с, в - через 8с,
г - через 12с с момента начала сварки

Рис.1

Скорость поперечной деформации
в точках свариваемых пластин



Сечение: 1 - $x=20$ мм; 2 - $x=120$ мм.
Расстояние от оси шва: $y=0$ (х - - - - -х);
 $y=12,0$ мм (● - сталь 12-6Г,
○ - сталь 09Г2Д).

Рис.2

Св-06Х25Н12ТЮ выбраны с минимальным содержанием никеля, учитывая его дефицитность и высокую стоимость, и легирующими элементами титаном и алюминием, способствующими устранению горячих трещин, что связано с ферритизацией аустенитного металла шва. Наряду с указанными проволоками использовалась проволока Св-08Г2С – основная проволока, применяемая при производстве вагонов.

Погонная энергия определялась параметрами режима сварки, выбранными экспериментально из условия обеспечения устойчивого горения дуги, качественного формирования шва и полного провара соединяемых элементов. При исследовании использовались математические метод планирования эксперимента и статистической обработки результатов. Исследования показали, что варьирование параметров процесса сварки и их величин в пределах, обеспечивающих получение бездефектных сварных соединений, не оказывает влияния на характер разрушения. Разрушение происходит по металлу менее прочной стали 09Г2Д и ВСтЗсп. Временное сопротивление разрыву металла шва при применяемых сварочных проволоках (Св-06Х25Н12ТЮ, Св-07Х18Н9ТЮ, Св-08Г2С) выше, чем у сварного соединения на 20-30%.

Ударную вязкость определяли на стандартных образцах типа УШ (ГОСТ 6996-66) в диапазоне температур от 20°С до минус 60°С с интервалом 20°С. Образцы изготавливались из сваренных пластин толщиной 4 мм стали ДИ-6І со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп. Особенность разработанной методики для разнородных сталей заключалась в том, что перед сваркой заготовки из пластин собирались в пакет для выполнения разделки кромок с целью обеспечения провара пакета на глубину, позволяющую получить после механической обработки стандартный образец. Надрезы на образцах "Менаже" выполнялись по оси шва и зоне сплавления металла шва с основными металлами сталей 09Г2Д и ВСтЗсп. Испытания образцов проводились на маятниковом копре типа МК-30 с максимальной энергией удара 300 Дж. Исследования проводились при определении полной работы, затраченной на разрушение образца, и составляющих, характеризующих затраты энергии на зарождение и развитие возникших трещин. Для определения последних была разработана методика испытаний образцов с тензометрированием процесса ударного разрушения, отличающаяся тем, что на основании копра устанавливались тензорезисторы и копер дополнительно оборудовался специальным

устройством для своевременного включения развертки осциллографа.

Исследованиями с применением методов математической статистики установлено, что ударная вязкость металла шва и зоны сплавления сварных соединений стали ДИ-61 со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп, в основном, определяется химическим составом сварочных материалов, остальные параметры технологии сварки менее значимы. Сварные соединения с использованием сварочных проволок Св-06Х25Н12ТЮ и Св-07Х18Н9ТЮ характеризуются высокими значениями ударной вязкости металла шва и зоны сплавления в диапазоне температуры испытания от 20°С до минус 60°С. С понижением температуры величина ударной вязкости металла шва практически не изменяется. Величины ударной вязкости металлов зоны сплавления с понижением температуры уменьшаются, но остаются высокими, превосходя при минус 60°С минимально допустимую по нормативным требованиям (0,3 МДж/м²) в 2-2,5 раза. Величина работы, затрачиваемой на зарождение трещины, примерно на 20% больше, чем на ее развитие. Минимальные значения работы на развитие трещины при минус 60°С составляют 0,25 МДж/м² (проволока Св-06Х25Н12ТЮ) и 0,22 МДж/м² (Св-07Х18Н9ТЮ) против нормативно-допустимой величины работы 0,15 МДж/м². Сварные соединения, выполненные проволокой Св-08Г2С, характеризуются низкой ударной вязкостью металла шва.

Исследованиями структуры с использованием рентгеновского микроанализатора "УХА-50А" (Япония) и микротвердости сварных соединений установлено, что при сварке проволоками Св-06Х25Н12ТЮ и Св-07Х18Н9ТЮ на границе сплавления металлов швов с основными металлами сталей 09Г2Д и ВСтЗсп образуются переходные зоны переменного химического состава протяженностью 0,02-0,03 мм с прослойками мартенситной структуры шириной 0,008-0,01 мм, не оказывающими существенного влияния на механические свойства сварного соединения. При сварке сталей проволокой Св-08Г2С в металле шва сварных соединений образуются горячие трещины.

Сварные соединения характеризуются переменной по поперечному сечению величиной микротвердости. Микротвердость металла шва значительно выше микротвердости металлов свариваемых сталей и находится в зависимости от технологических факторов в пределах 2,5-4 ГПа. Характерным является резкое увеличение величины микротвердости в зоне сплавления металла шва со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп и наоборот - уменьшение в зоне сплавления со сталью ДИ-61.

По результатам проведенных исследований для механизированной сварки в углекислом газе соединений стали ДИ-61 со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп можно рекомендовать сварочную проволоку Св-06Х25Н12ТЮ и параметры режима сварки: $J_{св}=180-200А$, $U_g=28-30В$, $V_c=0,005-0,008$ м/с, $Q=14-16$ л/мин. Недопустимо применение сварочной проволоки Св-08Г2С ввиду высокой твердости металла шва и образования горячих трещин в металле шва в процессе кристаллизации. Также не рекомендуется применение сварочной проволоки Св-07Х18Н9ТЮ и смеси углекислого газа с 20% кислорода в качестве защитной среды ввиду образования в зоне сплавления перлитных сталей с аустенитно-ферритным швом хрупких прослоек со структурой высокотвердого мартенсита.

Испытаниями на сопротивляемость образованию горячих трещин металла шва сварного соединения стали ДИ-61 со сталью 09Г2Д и проволоки Св-06Х25Н12ТЮ установлено, что критическая скорость растяжения шва составляет 0,00009 м/с. Сравнение с расчетными величинами скоростей поперечной деформации, полученными в главе 2, указывает на имеющийся 6-ти кратный запас по скорости деформирования металла шва при сварке на установленном в работе режиме, что может быть использовано как запас деформативной способности при сварке жестких элементов конструкций.

Глава 4 посвящена исследованию сопротивления усталости и коррозионной стойкости сварных соединений. Для усталостных испытаний с учетом реальных соединений в конструкции вагона были приняты плоские образцы со стыковыми соединениями, а также образец с концентратором в форме приваренного ребра. Испытания проводились на растяжение с использованием машины типа ЦМ-10Пу при частоте пульсации $f=1500$ цикл/мин. Коэффициент асимметрии цикла принимался равным 0,25, что считается характерным для вагонных конструкций, базовое число циклов - $5 \cdot 10^6$, как достаточное для качественной оценки усталостной прочности при сравнительных испытаниях. Результаты испытаний обрабатывались методом математической статистики для установления корреляционной зависимости между логарифмом числа циклов до разрушения ($\lg N$) и максимальным напряжением цикла (σ_{max}).

Испытаниями установлено, что предел выносливости стыкового разнородного соединения (ДИ-61+09Г2Д) на 10% выше предела выносливости однородного соединения из низколегированной стали 09Г2Д и находится на уровне предела выносливости однородного соединения из стали ДИ-61.

Усая (до 0,01 мм) твердая мартенситная прослойка в зоне сплавления разнородных металлов не оказывает влияния на сопротивление усталости сварных соединений.

Исследования коррозионной стойкости проводились для сварных соединений стали ДИ-61 со сталью 09Г2Д, выполненных механизированной сваркой в углекислом газе с использованием проволоки Св-06Х25Н12ТЮ. Определялась стойкость сварных соединений к общей, контактной, щелевой коррозии и коррозии под напряжением.

Для оценки стойкости к общей и контактной коррозии изготавливались сварные образцы размерами 70x30x3 мм, усиление шва снималось, поверхности шлифовались. Образцы испытывались в соответствии с ГОСТ 9.308-85 по методу испытания при переменном погружении в коррозионную среду. В качестве коррозионной среды использовался раствор 0,1% Na_2SO_4 - близкий по содержанию сульфатов к их содержанию в атмосфере. Длительность испытания составляла 120 суток - достаточная для ускоренных сравнительных испытаний.

С целью определения коррозионной стойкости основных металлов и шва и установления наиболее коррозионно-уязвимых участков в сварном соединении были проведены измерения электродных потенциалов относительно хлорсеребряного электрода на потенциостате типа П-5848. В качестве рабочих растворов использовались растворы 0,1% Na_2SO_4 , 0,1% H_2SO_4 и 0,5% H_2SO_4 .

С целью оценки влияния постоянного увлажнения на механические свойства (σ_b , δ) образцы стыкового соединения погружались в раствор 3% NaCl , рекомендуемый для ускоренных испытаний указанных сталей. Площади сталей 09Г2Д и ДИ-61, погруженные в раствор, находились в соотношении соответственно 1:15. Такие условия - наиболее неблагоприятны с точки зрения коррозии разнородных сталей. Длительность нахождения образцов в коррозионной среде составляла 120 суток. Образцы испытывались на статическое растяжение с периодичностью 30 суток.

Для оценки стойкости нахлесточных соединений против щелевой коррозии применена методика испытания образцов при переменном погружении в коррозионную среду. Новизна методики заключалась в использовании специально разработанных образцов, представляющих собой пластину из стали 09Г2Д размерами 200x25x4 мм с приваренными в центре одним лобовым швом накладками из сталей ДИ-61 и 09Г2Д. Для локализации места разрушения образцов в зону нахлестки (зона повышенной коррозии) на боковых гранях делались выкружки радиусом 5 мм. Длительность испытания образцов при

переменном погружении в раствор 0,1% Na_2SO_4 составляла 240 суток.

Испытания образцов под напряжением производились в соответствии с ГОСТ 17332-71 в специально разработанном и изготовленном приспособлении рычажной конструкции при постоянной растягивающей нагрузке-напряжении, равном 0,75 σ_r (предела текучести) менее прочной стали 09Г2Д в сварном соединении.

Исследованиями коррозионной стойкости установлено, что в сварных соединениях разнородных сталей ДИ-61 и 09Г2Д металл последней в результате анодного растворения корродирует интенсивнее, чем металл шва и стали ДИ-61. В условиях переменного увлажнения стойкость сварных соединений стали ДИ-61 со сталью 09Г2Д к общей и шелевой коррозии находится на уровне стойкости сварных соединений стали 09Г2Д. В этих условиях локальные виды коррозии в зоне контакта разнородных металлов не обнаружены. В условиях постоянного увлажнения наблюдается заметное усиление коррозии стали 09Г2Д в контакте со сталью ДИ-61. Поэтому сварные соединения разнородных сталей не должны находиться в зоне постоянного увлажнения, если затруднен доступ к ним для нарезания и возобновления антикоррозионного покрытия. Сталь ДИ-61 склонна к активации в растворах серной кислоты. Поэтому попадание кислоты и ее растворов на поверхность кузова должно быть исключено.

В главе 5 рассмотрены вопросы внедрения разработанной технологии при изготовлении кузовов пассажирских вагонов с применением стали 10Х13Г18Д (ДИ-61) и дается расчет экономического эффекта.

За базу сравнения принят пассажирский вагон модели 61-821. При определении изменяющихся текущих издержек потребителя были использованы новые расходные ставки с 01.01.82 г., новая схема межремонтных периодов в соответствии с приказом МПС № 8Ц от 19.03.82 г., новые цены на ремонты с 01.01.82 г. по прейскуранту 26-01-16.

При расчете предполагаемых ремонтных затрат по пассажирскому вагону с кузовом из нержавеющей стали использованы материалы Новороссийского и Гомельского вагоноремонтных заводов, ЦКТБ ЦТ ВР МПС, ВЧД-7 Московской железной дороги, ВНИИЖТ МПС.

Величина ожидаемого экономического эффекта на один вагон в год составляет около 3500 рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведенный литературный анализ показал, что для пассажирских вагонов перспективной и экономически оправданной является конструкция, в которой наряду с традиционной для вагоностроения низколегированной сталью 09Г2Д используется новая безникелевая нержавеющая сталь 10Х13Г18Д (ДИ-61). Сталь 10Х13Г18Д следует использовать для тонких, наиболее повреждаемых коррозией, элементов кузова. Научное обоснование технологии сварки и работоспособности сварных соединений этих разнородных сталей применительно к вагоностроению является актуальной задачей.

2. Разработанная методика и алгоритм исследования тепловых и термодиформационных процессов при сварке разнородных сталей на основе аналитических и численных методов позволили достаточно разносторонне проанализировать температурные поля, сварочные деформации и напряжения. Установлено, что температурное поле при сварке сталей ДИ-61 и 09Г2Д асимметрично относительно оси шва и достигает своего квазистационарного состояния к 10с с момента начала сварки. Отличительной особенностью распределения остаточных напряжений в сварных соединениях разнородных сталей является наличие асимметрии эпюр относительно продольной оси шва. Уровень деформаций в стали ДИ-61 выше, чем в стали 09Г2Д. Усадочное усилие в сварных соединениях разнородных сталей занимает промежуточное положение между значениями этих усилий в соединениях однородных сталей и отличается от последних на 7-10%. Определены скорости поперечной деформации при сварке в различных точках сварного соединения. Максимальная скорость поперечной деформации наблюдается в центре шва на начальном участке и достигает 0,0022 1/с, при этом в ТИХ она составляет 0,0015 1/с.

3. Исследовано влияние технологических параметров сварки на механические свойства и структуру сварных соединений. Установлено, что прочность сварных соединений стали ДИ-61 со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп при статическом растяжении определяется прочностью менее прочной стали 09Г2Д и ВСтЗсп. На границе сплавления аустенитного металла шва с основными металлами сталей 09Г2Д и ВСтЗсп образуются переходные зоны переменного химического состава протяженностью 0,02-0,03 мм с прослойками мартенситной структуры шириной 0,008-0,01 мм, не оказывающими существенного влияния на механические свойства.

4. Разработана методика испытания стандартного образца "Менаже" на ударную вязкость с тензометрированием процесса ударного разрушения, отличающаяся использованием более совершенной измерительной аппаратуры и расположением тензометрических датчиков (на опорах копра). Установлено, что величина работы, затрачиваемой на зарождение трещины в зоне сплавления разнородных металлов, примерно на 20% больше, чем на ее развитие. Минимальное значение работы на развитие трещины при минус 60°C примерно в 1,5 раза превосходит допустимую величину (0,15 МДж/м²) по действующей нормативной документации в вагоностроении.

5. Обобщение результатов исследований позволило определить и научно обосновать технологические параметры сварки разнородных сталей ДИ-6Г и 09Г2Д (ВСтЗсп) в углекислом газе:

- сварочная проволока марки Св-06Х25Н12ТЮ по ГОСТ 2246-70;
- режим механизированной сварки:

$I_{\text{св}}=180-200 \text{ А}$, $U_{\text{св}}=28-30 \text{ В}$, $V_{\text{св}}=0,005-0,008 \text{ м/с}$,
 $Q=14-16 \text{ л/мин}$.

6. Исследования расчетным и экспериментальным методам сопротивляемости металла шва образованию горячих трещин позволили установить, что сварные соединения разнородных сталей при механизированной сварке в углекислом газе на установленном режиме проволокой Св-06Х25Н12ТЮ имеют критическую скорость растяжения шва, равную 0,00009 м/с. Установлено, что при этом имеет место 6-ти кратный запас по скорости деформирования металла в направлении поперек шва, который может быть использован при сварке жестких узлов конструкций.

7. Исследована работоспособность сварных соединений применительно к условиям эксплуатации пассажирских вагонов. Установлено, что сопротивляемость усталости сварных соединений разнородных сталей ДИ-6Г и 09Г2Д превосходит сопротивляемость усталости сварных соединений основной конструкционной стали несущих элементов вагонов 09Г2Д. Стойкость сварных соединений стали ДИ-6Г со сталью 09Г2Д к общей и щелевой коррозии при отсутствии постоянного увлажнения находится на уровне стойкости сварных соединений стали 09Г2Д. При наличии постоянного увлажнения для сварных соединений разнородных сталей требуются дополнительные противокоррозионные меры.

8. Результаты работы использованы при разработке отраслевого стандарта "Проектирование и изготовление стальных сварных

конструкций вагонов. Технические требования" (ОСТ 24.050.34-84) в разделах: "Основные мероприятия по снижению деформаций и напряжений в сварных конструкциях", "Обработка и сборка под сварку", "Сварка коррозионно-стойких (нержавеющих) сталей", а также в технологических решениях при изготовлении пассажирских вагонов модели 61-806. Величина экономического эффекта на один вагон составляет около 3500 р. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Гончаров Ю.Г., Хлобыстова В.А., Пейрик Х.И. Создание облегченного пассажирского вагона повышенной надёжности с кузовом из безникелевой нержавеющей стали // Экономия металла в машиностроении методами сварки: Тезисы докладов Всес.научно-техн.конф.-Воронеж.-1983. - С.40-45.

2. Гончаров Ю.Г., Топоров В.В. Температурные поля при сварке разнородных сталей, применяемых в вагоностроении: Межвузовский сб.науч.тр./МИИТ. - 1983. - Вып.724. - С.66-77.

3. Пассажирский вагон повышенной надёжности и коррозионной стойкости с кузовом из безникелевой нержавеющей стали / Х.И.Пейрик, В.А.Хлобыстова, А.Ф.Павленко, Ю.Г.Гончаров//Проблемы сварки и специальной электрометаллургии: Тезисы докладов Всесоюзной конференции (Киев, 16-18 мая 1984 г.). - Киев: ИЭС им.Патона, 1984. - С.47-49.

4. Опыт и проблемы применения нержавеющей сталей в сварных конструкциях пассажирских вагонов /Ю.Г.Гончаров, А.М.Мейстер, Х.И.Пейрик, В.А.Хлобыстова //Вопросы повышения эксплуатационной надёжности вагонов: Сб.науч.тр./ВНИИ вагоностроения - Вып.56. - 1985. - С.32-41.

5. Гончаров Ю.Г., Подсосов Е.В., Мейстер А.М. Ударная вязкость разнородных сварных соединений стали 10Х13Г18Д со сталями 09Г2Д и ВСтЗсп // Сварочное производство.- 1987.- №3. - С.16-17.

Гончаров