МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕД ЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи
УДК621.791:620.197

ЛУПАЧЁВ
Андрей Вячеславович

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СВАРНЫХ И ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ И СОСТАВА ШВА

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности
05.02.10 «Сварка, родственные процессы и технологии»

Электронная библиотека
Белорусско-Российского университета

Могилев, 2012

Работа выполнена в Государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»

Научный руководитель - **доктор технических наук, профессор**
Павлюк Сергей Кириллович

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов» Шатов Александр Павлович, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

- кандидат технических наук Радченко Александр Адамович, Опытное хозрасчетное предприятие «Институт сварки и защитных покрытий» Государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии НАН Б, г. Минск

Оппонирующая организация - УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Защита диссертации состоится 05 июля 2012 г. в 12.00 на заседании Совета по защите диссертаций К 02.12.81 при ГУВПО «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212000, г. Могилев, пр-т Мира, 43, корп. 1,ауд. 323.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»

Автореферат разослан «__ » _____ 2012 г.

Телефон ученого секретаря 8-0222-22-52-12

Ученый секретарь
Совета по защите диссертаций
доктор физ.-мат. наук, профессор В. И. Борисов

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование технологии сварки оцинкованных сталей с целью сохранения покрытия и повышения коррозионной стойкости соединений долгие годы привлекало внимание исследователей и производственников. Разработанные технологии дуговой сварки, предусматривающие использование источников питания постоянного тока и сварочных материалов на основе железа, не решали задачу обеспечения коррозионной стойкости сварных соединений.

В последнее десятилетие появились принципиально новые сварочные технологические процессы, оборудование и материалы, использование которых приближает решение этой задачи. Инверторные источники питания с цифровым управлением позволили вести процесс сварки на малой силе сварочного тока, снизить тепловложение в свариваемый металл, использовать в качестве электродных материалов сплавы на основе меди, алюминия и цинка. Мировой рынок в изобилии снабжает потребителей соответствующим оборудованием и материалами для реализации новых технологических процессов. Однако научное обеспечение для их широкого использования в промышленности недостаточно развито.

Сведения из литературных источников и рекламы сварочного оборудования и материалов не отвечают на главные вопросы: насколько повышается коррозионная стойкость сварных и паяных соединений оцинкованных сталей, находящихся под воздействием окружающей среды и способных создавать гальванические пары, а также для каких условий эксплуатации целесообразно использование процессов, предусматривающих образование швов, металл которых является сплавом на основе меди, алюминия или цинка.

Влияние разнородности соединений из оцинкованных сталей с медными швами на коррозионную стойкость теоретически предсказать трудно из-за протекания сложных процессов пассивации и высокой разности электродных потенциалов на поверхности соединений. Нет четкого разграничения сварочных материалов по областям применения для соответствующих изделий с учетом условий их эксплуатации. Не проведены исследования по оценке коррозионной стойкости соединений, выполненных современными способами дуговой сварки с использованием разнородных материалов. Затруднительно однозначно утверждать повышает или понижает коррозионную стойкость использование электродных проволок на основе меди.

Необходим комплекс исследований по дуговой сварке и пайке оцинкованных сталей для совершенствования соответствующих технологических процессов, обеспечивающих снижение повреждения цинкового покрытия, а также повышения коррозионной стойкости соединений до стойкости основного металла.

В настоящей работе исследованы процессы повреждения и разрушения цинкового покрытия на стали при дуговой сварке и пайке, определены основные пути снижения отрицательного влияния теплового воздействия дуги на коррозионные свойства соединений.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами. Работа выполнена в рамках ГБ-0621 «Улучшение качества сварных соединений нефтехимического оборудования и технологических трубопроводов»
(№ ГР 2006565, 2010 г.) и ГБ-1120 «Разработка ресурсосберегающих технологий процессов сварки тонколистового металла» (№ ГР 20111338, 2011 г.).

Диссертационная работа соответствует Постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 27.12.2002 года № 1820 «О строительстве, реконструкции и капитальном ремонте тепловых сетей и систем теплоснабжения с применением исключительно предварительно изолированных (ПИ) труб и фасонных частей».

Диссертация соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006-2010 гг.: 2. «...обеспечение надежности и безопасности технических систем...».

Цель и задачи исследования

Цель исследования - выявить механизмы повреждения цинковых покрытий на стальных элементах трубопроводов при дуговой сварке и пайке и разработать пути повышения стойкости к коррозии сварных и паяных соединений до уровня стойкости основного металла.

Объект исследования - цинковые покрытия в зоне термического влияния сварных и паяных соединений тонколистовых оцинкованных сталей.

Предмет исследования – процессы разрушения цинкового покрытия при термомеханическом воздействии дуговой сварки и пайки и последующей эксплуатации соединений в коррозионно-активных средах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Раскрыть механизмы повреждения и разрушения цинкового покрытия при термомеханическом воздействии дуговой сварки и пайки, определить направления минимизации повреждения покрытия.

2. Выявить закономерности поведения разнородных систем «шов — поврежденная зона - цинковое покрытие» в агрессивных средах и определить коррозионную стойкость сварных и паяных соединений оцинкованных сталей, выполненных электродными проволоками разного химического состава.

3. Обосновать пути приближения коррозионной стойкости сварных и паяных соединений оцинкованных сталей к стойкости основного металла.

4. Определить параметры энергетического воздействия на процессы дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей и требования к оборудованию и технологиям.

5. Создать методику разработки оптимальных технологических процессов дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Положения, выносимые на защиту

1. Нагрев цинковых покрытий при дуговой сварке и пайке в зоне термического влияния *приводит* к повреждению покрытий, механизм которого *заключается* в кипении, плавлении и окислении цинка при температурах свыше 911, 419, 200 °С соответственно, размеры повреждения зависят от количества внесенной энергии и химического состава металла шва, а воздействие агрессивной среды на поврежденные участки цинка *приводит* к формированию фронта коррозии, его продвижению от шва и распространению вглубь стали.

2. Уменьшение ширины зоны повреждения цинкового покрытия до величины действия анодной защиты, равной 1,2 мм, *обеспечиваемое* выбором сварочных материалов на основе цветных металлов и режимов дуговой сварки и пайки, и приближение разности электродных потенциалов металла шва и покрытия, не превышающей 0,25 В, *приводят* к эффекту порогового повышения коррозионной стойкости сварных и паяных соединений оцинкованных сталей до стойкости основного металла.

3. Использование сварочных проволок на основе алюминия или цинка и снижение погонной энергии дуговой пайки до $3 \cdot 10^7$ Дж/м^2 уменьшают размеры зоны повреждения цинкового покрытия до зоны действия анодной защиты и понижают градиенты электрохимических потенциалов на границах «основной металл - участки зоны повреждения - шов», что *обеспечивает* снижение интенсивности коррозионных процессов на поверхности металла и *позволяет* получить максимальную коррозионную стойкость соединений оцинкованных сталей.

4. Управление переносом капель электродного металла на основе меди и цинка в сварочную ванну электромагнитным импульсным воздействием в диапазоне 350-400 А и реверс подачи сварочных проволок на основе алюминия в диапазоне 2,3-3 м/с^2 снижает тепловложение в соединение при обеспечении стабильности и производительности процесса, что *обеспечивает* снижение степени повреждения цинкового покрытия и приближение коррозионной стойкости соединений к стойкости основного металла.

Личный вклад соискателя

Автором развиты представления о закономерностях повреждения цинковых покрытий, выявлены пути минимизации последствий воздействий сварочного нагрева для коррозионной стойкости соединений. Научному руководителю принадлежит основная идея работы. Определение целей и задач исследований, обобщение полученных результатов проводились автором совместно с научным руководителем. В совместных с научным руководителем работах автор осуществлял постановку задач, разрабатывал методики экспериментов, проводил теоретические и экспериментальные исследования. В работах, опубликованных с соавторами, автор участвовал на всех этапах их выполнения.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Апробация результатов диссертации

Основные результаты работы доложены на следующих конференциях:

- международные научно-технические конференции «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2006, 2007, 2008, 2009,2010, 2011);
- международные научно-технические конференции молодых ученых (Могилев, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011);
- международная научно-техническая конференция «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» (Могилев, 2009);
- международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика» (Смоленск, 2010);
- международная научно-практическая конференция «Энергоэффективные технологии. Образование. Наука. Практика» (Минск, БНТУ, 2010);
- 14-й международный симпозиум «Белорусский промышленный форум-2011» (Минск, 2011).

По результатам республиканского конкурса научных работ студентов получен диплом первой категории за работу «Снижение разрушения цинкового покрытия на стали при дуговой сварке и пайке» (2008 г.).

За работу «Разрушение цинковых покрытий при сварке сталей и минимизация последствий для свойств сварных соединений» получена медаль «За лучшую научную работу» открытого конкурса студентов вузов Российской Федерации и стран СНГ на лучшую научную работу по естественным, техническим и гуманитарным наукам (2008 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Основное содержание диссертации опубликовано в 7 статьях, 6 из которых соответствуют пункту 18 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь», с общим объемом 3,93 авторских листа, материалах 21 международной и республиканской научно-технических конференциях, в описаниях 3 патентов Республики Беларусь на полезные модели.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 162 страницы. Она содержит 98 страниц текста, 44 рисунка на 25 страницах, 18 таблиц на 6 страницах, список использованных библиографических источников в количестве 149, включая 31 авторскую работу, на 11 страницах, 5 приложений на 21 странице.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы обоснованы актуальность темы, показана ее связь с крупными научными программами, сформулированы цели и задачи исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ нерешенных задач для обоснования цели диссертационного исследования. Отмечен вклад исследователей в развитие дуговой сварки оцинкованных сталей и повышение коррозионной стойкости сварных соединений. Рассмотрены особенности поведения сварных и паяных соединений оцинкованных сталей при взаимодействии с агрессивной средой. Дан аналитический обзор современного состояния технологий и оборудования для дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей и показаны пути повышения коррозионной стойкости соединений. Определен объект и обоснована область исследований.

Отмечено, что применение современного сварочного оборудования для механизированной дуговой сварки и пайки и источников питания инверторного типа с цифровым программным управлением параметрами режимов сварки, использование сварочных материалов с низкой температурой плавления позволяет снизить тепловложение в свариваемое изделие, уменьшить ширину зоны повреждения покрытия и открывает новые возможности совершенствования технологии дуговой сварки и пайки.

Показано, что использование сварочных материалов на основе меди, алюминия и цинка приближает решение задачи сохранения цинкового покрытия при сварке и пайке и обеспечения коррозионной стойкости соединений теплотрасс на уровне основного металла. В этом случае металл шва существенно отличается от основного по величине электродных потенциалов. Влияние разности электрохимических потенциалов шва и основного металла на коррозионную стойкость разнородных соединений оцинкованных сталей в процессе эксплуатации трубопроводов, особенно в соединениях со швами из сплавов на основе меди, не изучено.

Для дальнейшего совершенствования технологии сварки оцинкованных деталей трубопроводов необходимы исследования механизмов разрушения цинкового покрытия при сварке с использованием сварочных материалов различного химического состава, изучение гальванических процессов на поверхности соединений при контакте с окружающей средой, определение коррозионных свойств сварных и паяных соединений в зависимости от назначения и условий эксплуатации изделий.

Коррозионная стойкость сварных и паяных соединений из оцинкованных сталей и методы ее повышения исследованы недостаточно. Особенно это касается коррозионных свойств соединений, выполненных с использованием современных электродных материалов для дуговой сварки и пайки и новых технологических процессов, основанных на использовании инверторных источников питания с цифровым программируемым управлением.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Отсутствие данных по свойствам отдельных участков сварного соединения, электрохимическим свойствам металла шва препятствуют проектированию технологических процессов дуговой сварки и пайки изделий, эксплуатируемых в определенных условиях, в частности, эксплуатации трубопроводов теплотрасс.

Во второй главе описано оборудование, материалы и методики исследований повреждения цинковых покрытий и коррозионной стойкости соединений оцинкованных сталей. Образцы для исследований выполняли из листовой стали 08Ю толщиной 1,5 мм (ГОСТ 14918-69) с цинковым покрытием толщиной 18-40 мкм, нанесенным горячим способом в соответствии с ГОСТ 14918-69.

Механизированную дуговую сварку и пайку выполняли на установках Magster 351 и Powertec 300S электродными проволоками Св-08Г2С и Св-06Х19Н9Т диаметром 1,0-1,2 мм в среде CO_2 и смеси Ar+CO_2. Дуговую пайку проволоками из медных сплавов CuSi3 и CuAl8 диаметром 1 мм осуществляли на установках Trans Puls Synergic 2700, Aristo Mig C300 и Divari-Arc320. Дуговую пайку электродной проволокой AlSi5 осуществляли на установке Trans Puls Synergic 2700, проволокой ZnAl4 диаметром 0,8 и 1 мм в среде аргона - на установке Phoenix 330. Основные режимы дуговой сварки и пайки: сила сварочного тока $I_{св}$ = 25-120 А; напряжение на дуге $U_Д$ = 13-20 В; скорость дуговой сварки или пайки $V_{св}$ = 20-60 м/ч; скорость подачи электродной проволоки $V_{пп}$ = 2-5 м/мин; расход защитного газа 6-9 л/мин.

Для получения данных о коррозионной стойкости сварных и паяных соединений оцинкованных сталей выполнен комплекс исследований, предусматривающий выявление характера повреждения покрытия и определение толщины разрушенного и оставшегося слоя цинка, оценку профилографированием степени повреждения металла при дуговой сварке и пайке и коррозионном воздействии агрессивных сред, визуально-оптическое наблюдение за поведением соединений под тонким слоем агрессивной среды, определение потерь массы образцов, измерение электродных потенциалов, расчет гальванических токов на поверхности соединений.

Методика исследований распределения электродных потенциалов на поверхности сварных и паяных соединений оцинкованных сталей предусматривала локальные измерения электродных потенциалов различных характерных участков соединения. Поскольку протяженность зоны повреждения составляет 0,4-6 мм, для локального определения процессов, протекающих на поверхности металла, электродные потенциалы измеряли электродом с контактной поверхностью диаметром 0,2 мм.

Для исследований распределения гальванических токов использована модель, состоящая из двух разнородных металлов, лежащих в одной плоскости, приведенных в соприкосновение и покрытых тонким слоем электролита, что обеспечивает имитацию атмосферных условий, при которых поверхность металла всегда покрыта тонким слоем влаги. Рядом со швом на основе медного сплава есть участок с поврежденным покрытием, а рядом со швом на основе алюминия— участок с незначительными следами повреждения.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

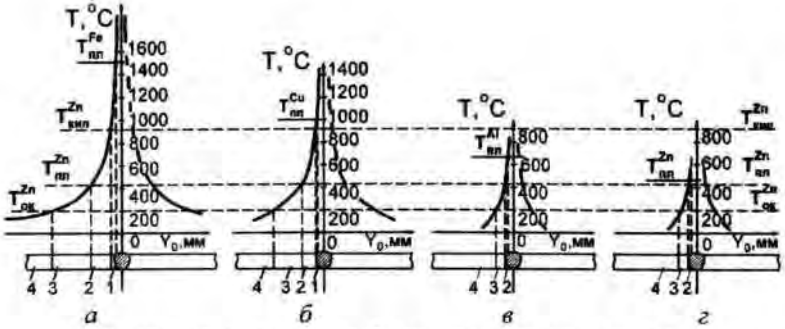
С целью изучения защитных свойств цинкового покрытия с поверхности образцов механическим способом удаляли цинк полосами определенной ширины. Размеры полос без покрытия составляли: 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 5; 7 мм. Это имитирует зону с разрушенным покрытием, прилегающую к шву, образуемую от воздействия термического цикла дуговой сварки или пайки.

Для исследования защитных свойств цинковых покрытий и коррозионной стойкости сварных соединений, выполненных сварочными проволоками на основе железа, меди, алюминия, цинка, проведены ускоренные коррозионные испытания плоских образцов в виде пластин, в соответствии с ГОСТ 9.905-82. Коррозионные испытания образцов проводили в 0,75% растворе HCl+NaCl на дистиллированной воде в соответствии с ГОСТ Р 9.905.2007.

Комплекс лабораторных исследований дополнен натурными испытаниями в промышленной, городской, сельской атмосферах и в грунте.

Для определения минимальной толщины поврежденного цинкового покрытия, обеспечивающего действие анодной защиты, на сварных и паяных образцах измеряли шероховатость поверхности в граничном участке, имеющем плавный переход от участка полного разрушения покрытия к участку поврежденного цинкового покрытия, который обеспечивает коррозионную стойкость. Параметры повреждения покрытия оценивали профиллографированием поверхностей на программно-аппаратном комплексе «Shark»

В третьей главе на основе модели нагрева пластины стали при дуговой сварке, разработанной академиком Н. Н. Рыкалиным, исследованы закономерности процессов повреждения и разрушения цинкового покрытия на стали при дуговой сварке и пайке. Идентифицированы характерные участки повреждения цинкового покрытия в зоне термического влияния: кипения, плавления и окисления, обладающие пониженной коррозионной стойкостью и отличающиеся по преобладающему процессу повреждения (рисунок 1).



1 – участок кипения цинка; *2* – участок расплавления цинка;
3 – участок окисления цинка; *4* – основной металл с неизмененным покрытием

Рисунок 1 – Температурные условия нагрева дуговой сваркой цинкового покрытия на стали толщиной 1,5 мм в защитном газе электродными проволоками на основе железа (*а*), меди (*б*), алюминия (*в*), цинка (*г*)

Показано, что разрушение цинкового покрытия после высокотемпературного нагрева характеризуется шириной поврежденных участков и оставшимся слоем покрытия, толщина которого зависит от длительности пребывания покрытия при температурах кипения (1500-911°С), плавления (911-419°С) и окисления (419-200°С), определяемых погонной энергией дуговой сварки и пайки. Установлена зависимость протяженности участков повреждения от величины погонной энергии.

Определено время пребывания покрытия при температурах окисления, плавления и кипения цинка на разных участках зоны термического влияния при дуговой сварке и пайке (рисунок 2). На середине участка кипения цинка время пребывания металла при дуговой сварке на погонной энергии $q/V\delta$ = 9,6-10^7 Дж/м составляет 1,6 с, а при дуговой пайке на погонной энергии $q/V\delta$ = 5,76-10 Дж/м^2 уменьшается до 0,48 с и покрытие толщиной 0,05 мм испаряется полностью. На участке расплавления покрытия средняя толщина испарившегося слоя при дуговой сварке составляет 0,185 мм, а при дуговой пайке не превышает 0,108 мм. На участке окисления цинк окисляется частично и при защите зоны сварки инертным газом покрытие сохраняется.

Степень повреждения защитного цинкового покрытия в зоне термического влияния оценивали на микроскопе Neophot-21 измерением глубины повреждения покрытия на характерных участках металлографических шлифов сварных и паяных соединений (рисунок 3).

Рисунок 2 – Время пребывания металла покрытия при температурах окисления (1), плавления (2), кипения (3)

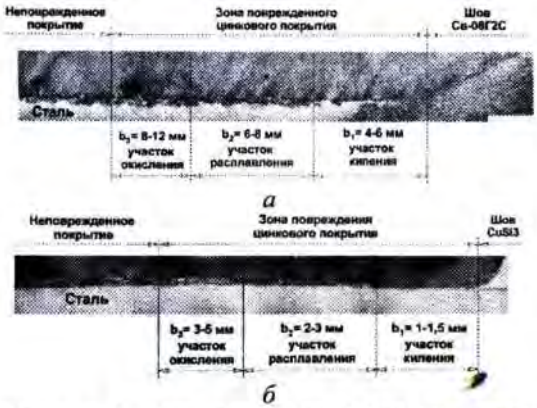


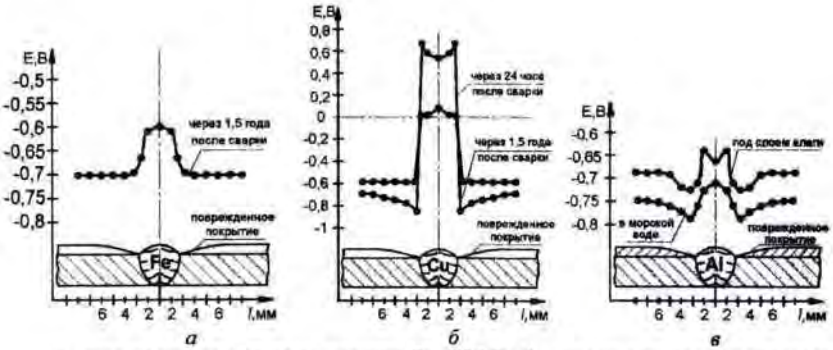
Рисунок 3 – Зоны с характерными участками разрушения и повреждения цинкового покрытия, образующиеся при дуговой сварке проволокой Св-08Г2С (*а*) и дуговой пайке проволокой CuSi3 (*б*)

При дуговой пайке проволокой на основе меди наблюдаются все характерные участки разрушения и повреждения покрытия, но они меньшие по размеру по сравнению с дуговой сваркой стальными электродными проволоками.

При дуговой пайке проволокой из сплава на основе алюминия не образуется участок кипения цинка, а участки плавления и окисления по размеру меньше по сравнению с дуговой сваркой электродными стальными или медными проволоками. При пайке проволокой из цинкового сплава не образуется участок кипения цинка, а участки плавления и окисления по размеру существенно меньше по сравнению со сваркой проволоками других составов.

Установлено, что ограничение энергетического воздействия обеспечивается сокращением времени пребывания покрытия при высоких температурах при использовании сварочных проволок малого диаметра (0,8 и 1,0 мм) из медных, алюминиевых или цинковых сплавов и позволяет снизить протяженность зоны нагрева покрытия, в зависимости от назначения изделия и условий его эксплуатации: снижением силы сварочного тока; использованием тиристорных источников питания, обеспечивающих устойчивое горение дуги на малой силе сварочного тока, начиная с 30-40 А, регулирование тепловложения в свариваемое изделие и пропускание импульсов тока в периоды времени, когда анодом является изделие; применением в качестве защитного газа аргона высокой чистоты и струйной газовой защиты, позволяющей защищать не только шов, но и зону основного металла, нагретого до температуры выше 200 *°С;* снижением скорости истечения защитного газа до $V_{зг} \leq 3\text{-}4$м/с

В главе 4 исследованы процессы повреждения цинковых покрытий и коррозионная стойкость сварных и паяных соединений оцинкованных сталей. Исследованы электродные потенциалы и гальванические токи в соединениях, покрытых тонким слоем электролита, и их влияние на коррозионные процессы. Получены топографии электродных потенциалов под слоем влаги на поверхности сварных и паяных соединений, выполненных электродными проволоками на основе железа, меди и алюминия (рисунок 4).



а – шов на основе железа (проволока Св-08Г2С); *б* – шов на основе меди (проволока CuSi3); *в* – шов на основе алюминия (проволока AlSi5)

Рисунок 4 – Распределение электродных потенциалов на поверхности соединений

Научная библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Исследованы гальванические токи, протекающие на поверхности контактирующих пар Cu-Zn, Al-Zn, Cu-Fe, Fe-Zn, покрытых слоем электролита,

При моделировании сварных и паяных соединений, выполненных электродными проволоками на основе железа, меди и алюминия, определены значения гальванических токов на поверхности соединений.

Разность электродных потенциалов в системе «стальной шов — цинковое покрытие» в агрессивной среде достигает 0,33 В; «медный шов - цинковое покрытие» - 1,09 В; «алюминиевый шов - цинковое покрытие» - 0,92 В. Максимальные значения плотности гальванических токов выявлены в зоне повреждения покрытия, они снижаются с увеличением расстояния от границы шва. Плотность гальванического тока зависит от состава сварочных проволок и на расстоянии 0,8 мм от границы швов, выполненных проволоками на основе железа, составляет 12 мкА/мм^2, проволоками на основе меди - 45 мкА/мм^2, проволоками на основе алюминия -21 мкА/мм^2.

В соединениях с медными швами пики значений электродных потенциалов на поверхности шва по его оси достигают 0,68-0,73 В, что указывает на склонность соединений к коррозионному разрушению. В среде с 6<pH<8, шов пассивируется, пики сглаживаются, и на шве типа CuSi3 в растворе NaCl значения потенциалов составляют 0,01-0,14 В, что снижает интенсивность коррозионных процессов.

Полученные экспериментальные данные позволяют прогнозировать механизмы коррозионного повреждения соответствующих соединений (таблица 1). Разность потенциалов между швом из стали типа 18-8 и покрытием составляет 0,99 В, так как потенциал коррозионно-стойкого шва смещен относительно потенциала цинка. При ширине повреждения покрытия, превышающей ширину действия анодной защиты, ускоряется перемещение фронта коррозии от поврежденного участка в перпендикулярном шву направлении, а затем происходит растворение вглубь основного металла.

По резкому изменению времени растворения цинкового покрытия до основного металла экспериментально определена допустимая максимальная ширина зоны повреждения $b_П$ цинкового покрытия, при которой сохраняется действие анодной $b_{АЗ}$ (протекторной) защиты (рисунок 5) и сформулировано условие приближения коррозионной стойкости сварного соединения к основному металлу. Стойкость соединения обеспечивается, если ширина зоны повреждения от воздействия термического цикла сварки и пайки меньше ширины зоны анодной защиты ($b_П < b_{АЗ}$ = 1,2-1,4 мм) и значения величин электродных потенциалов металла шва и цинкового покрытия сравниваются ($U_{Me} - U_{Zn} \rightarrow \min < 0{,}25$ В). При дуговой пайке проволоками на основе алюминия или цинка металл шва стоек к коррозии и $b_n \rightarrow 0$, что обеспечивает надежную коррозионную стойкость соединения. Соединения, выполненные проволоками на основе железа обладают низкой коррозионной стойкостью, поскольку ширина шва включается в незащищенную зону ($2b_П + Ь_{шва} >> b_{АЗ}$). Швы, выполненные проволоками на основе меди, могут быть стойкими к коррозии, а при $b_n < Ь_{аз}$ коррозионная стойкость соединения обеспечивается.

Белорусско-Российского университета Электронная библиотека

Таблица 1 – Механизмы коррозионного повреждения соединений

Электродные потенциалы и токи при контакте с агрессивной средой	Способ соединения и характеристика коррозионного разрушения
E_{Fe}=-0,61 В; $E_{повр}$=-0,69 В; E_{Zn}=-0,76 В; Zn 2 1 3 2; сталь	**Соединение со швом на основе железа:** общая коррозия поверхности основного металла и металла шва, фронт разрушения покрытия увеличивается с расширением зоны поражения покрытия коррозией в направлении от шва
$E_{повр}$=-0,48 В; E_{Zn}=-0,76 В; Zn 2 1 3 2; сталь; E_{Fe}=0,23 В	**Соединение со швом из проволоки Св-06Х19Н9Т:** фронт разрушения покрытия направлен перпендикулярно шву, а для основного металла – вглубь, поскольку шов коррозионно стоек
$E_{повр}$=-0,72 В; E_{Zn}=-0,76 В; Zn 2 1 3 2; сталь; E_{Cu}=0,73 В	**Соединение со швом на основе меди в состоянии после сварки:** концентрация коррозионных процессов вблизи шва до полного разрушения цинкового слоя и продолжение процесса разрушения основного металла с продвижением фронта коррозии вглубь металла
$E_{повр}$=-0,72 В; E_{Zn}=-0,76В; Zn 2 1 3 2; сталь; E_{Cu}=0,04 В	**Соединение со швом на основе меди в средах, вызывающих пассивацию:** в процессе эксплуатации с течением времени разность электродных потенциалов снижается, коррозионное разрушение приобретает равномерный характер, направлено вглубь металла по всей ширине участка повреждения покрытия
E_{Zn}=-0,75 В; E_{Zn}=-0,76 В; $E_{повр}$=-0,78 В; E_{Al}=-0,64 В; Zn 2 1 3 2; сталь	**Соединение со швом на основе алюминия или цинка:** равномерная коррозия с постепенным уменьшением толщины цинкового покрытия на основном металле и на участке повреждения покрытия совместно с коррозией шва
E_{Zn}=-0,68...-0,77 В; E_{Zn}=-0,76 В; напыленное цинковое покрытие; отслоение покрытя; механические повреждения; Zn 1; сталь	**Соединение с цинконаполненным напыленным покрытием**: соединение с цинковым швом равномерно растворяется с поверхности, в процессе эксплуатации происходит отслаивание, разрушение и утонение нанесенного покрытия, менее стойкого к механическим воздействиям в сравнении с заводским оцинкованием

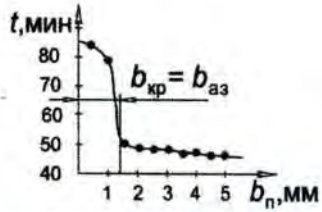
Примечание: *1* – шов; *2* – поврежденное цинковое покрытие; *3* – гальванические токи

У образцов, испытанных в городской и сельской атмосфере, развитие коррозионного повреждения локализовано преимущественно вблизи шва.

Образцы, испытанные в условиях взаимодействия с грунтом (чернозем), имели общее повреждение цинкового слоя по всей поверхности. В отдельных местах площадью 4-8% от поверхности покрытие толщиной 30 мкм разрушено на 20-50% толщины покрытия.

Общую потерю массы образцов определяли весовым способом в лабораторных условиях на весах HCB 123 Adom Equipment. Установлено, что потеря массы составила 0,0046-0,0051% для образцов, находившихся в грунте; 0,0028-0,0034% и 0,0022-0,0027% для образцов, находившихся в городской и сельской атмосферах соответственно. Потеря массы образцов, швы которых покрывали цинкосодержащей краской, составила 0,0004-0,00043%.

В результате исследований установлено, что наименьшей коррозионной стойкостью обладают сварные соединения оцинкованных сталей, выполненные электродными сварочными проволоками на основе железа (Св-08Г2С и Св-06Х19Н9Т) (рисунок 6).



$b_{аз}$ – размер зоны повреждения цинкового покрытия, при котором обеспечивается анодная защита; $b_{кр}$ – критический размер зоны повреждения цинкового покрытия, превышение которого не обеспечивает анодную защиту

Рисунок 5 – Максимальный размер зоны повреждения цинкового покрытия, сохраняющей анодную защиту

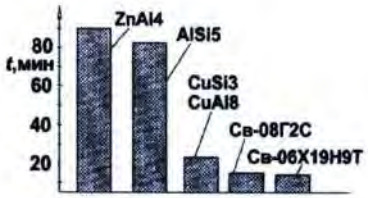


Рисунок 6 – Время растворения цинкового покрытия до основного металла на соединениях, выполненных проволоками разного химического состава

Далее по снижению коррозионной стойкости следуют соединения, выполненные электродной проволокой на основе меди (CuSi3 и CuAl8). Наиболее стойкими оказались сварные соединения, выполненные сварочными проволоками на основе алюминия - AlSi5 и на основе цинка - ZnAl4. Это объясняется более низкой, чем у железа (1539°С) температурой плавления рассматриваемых цветных металлов (меди - 1083 °С; алюминия - 660 °С; цинка - 419 °С) и, как следствие, более низкой погонной энергией, необходимой для образования сварного шва, меньшим тепловложением в свариваемое изделие, что повреждает защитное цинковое покрытие в гораздо меньшей степени. Меньшая, чем при сварке проволоками на основе железа, ширина повреждения цинкового покрытия (0,5-1 мм) при сварке проволоками на основе меди компенсирует большую разность потенциалов, увеличивая коррозионную стойкость. Отсутствие повреждения

Белорусская библиотека университета

покрытия и образование оксидной пленки на шве, выполненном электродной проволокой на основе алюминия (AlSi5), способствует сохранению антикоррозионных свойств на уровне основного металла.

Исследования показали, что широко рекламируемые электродные проволоки на основе медных сплавов марок CuSi3 и CuAl8 не решают задачу сохранения коррозионной стойкости сварных соединений оцинкованных сталей при воздействии агрессивной среды. Существенная разность электродных потенциалов между швом и поврежденным цинковым покрытием способствует возникновению гальванических токов на поверхности соединения и ускоряет процесс коррозионного разрушения в зоне термического влияния. Однако возможно снижение разности электродных потенциалов в связи с пассивацией соединения и образования оксидных пленок на поверхности с течением времени в зависимости от степени агрессивности среды.

Для определения минимальной толщины цинковых покрытий сварных соединений, сохраняющих антикоррозионную защиту, получены профилограммы, на которых определены средние линии поверхностей в зоне стали без цинкового покрытия и в зоне поврежденного цинкового покрытия. Минимальная толщина покрытия, обеспечивающая действие антикоррозионной защиты, составляет 3,89-4,12 мкм. При снижении толщины цинкового покрытия с 30 до 10 мкм действие антикоррозионной защиты сохраняется. Однако при снижении толщины покрытия менее 4 мкм на поверхности металла появляются очаги коррозионного повреждения диаметром 2-4 мм, что указывает на потерю коррозионных свойств покрытия.

В главе 5 изложены этапы и последовательность проектирования технологических процессов дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей, выбор сварочного оборудования, внедрение в производство результатов работы. Приведены прочностные исследования сварных и паяных соединений оцинкованных сталей, выполненных электродными проволоками разного химического состава.

Нагрев цинкового покрытия при сварке приводит к его повреждению и потере антикоррозионных свойств, поэтому необходимо обеспечить минимальное тепловложение в соединение. Однако это снижает устойчивость горения дуги и требует управления переносом капель в сварочную ванну. Определены параметры управления переходом электродного металла в сварочную ванну для устойчивого протекания процесса на малых токах без потерь производительности.

Управление частотой перехода капель можно осуществлять регулированием параметров режима сварки, изменением состава защитной атмосферы, воздействием на каплю инерционных, электромагнитных и других сил. В исследованиях рассмотрены основные силы, действующие на каплю электродного металла, с учетом инерционных сил, способствующих отрыву капли и ее переходу в сварочную ванну.

Определены значения импульсов сварочного тока и продолжительность их действия, установлены параметры реверсивных ускорений с короткими за-

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

мыканиями дугового промежутка для электродных проволок разного химического состава.

Получены сравнительные характеристики коррозионных и прочностных свойств сварных и паяных соединений оцинкованных сталей, выполненных сварочными проволоками на основе железа, меди, алюминия, цинка. На основе сравнительных характеристик сформирована последовательность разработки технологических процессов дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей в зависимости от условий эксплуатации изделия. Оптимизированы режимы дуговой сварки и пайки изделий из оцинкованных сталей толщиной 1,5-2,5 мм проволоками на основе цветных металлов.

Спроектирована новая конструкция металлической заглушки изоляции концевых и фасонных элементов трубопроводов, которая принята в производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. *Установлено,* что при дуговой сварке и пайке оцинкованных сталей в зоне термического влияния образуются три характерных участка повреждения, которые становятся очагом коррозионного разрушения: на участке, прилегающем к шву и нагретом до температуры $T_{нагр}$ > 906 °С, происходит кипение и испарение цинка, приводящее к разрушению покрытия; на участке с $T_{нагр}$> 419 °С цинковое покрытие плавится, что вызывает его утонение; на участке с $T_{нагр}$ > 200 °С происходит поверхностное окисление цинка. *Определены* размеры участков повреждения цинкового покрытия в зависимости от времени пребывания при высоких температурах и *установлено,* что при дуговой сварке проволоками на основе железа и дуговой пайке проволоками на основе меди наблюдаются все характерные участки повреждения цинкового покрытия, однако при дуговой пайке медными проволоками они меньшие по ширине и глубине; при дуговой пайке проволоками на основе алюминия не образуется участок кипения цинка, а участки плавления и окисления по ширине составляют всего 1-1,5 мм; дуговая пайка проволоками на основе цинка не вызывает образование участков кипения и плавления цинка, а ширина участка окисления не превышает 1 мм [1-А].
Выявлены особенности кинетики физико-химических процессов в зоне термического влияния при дуговой сварке и пайке оцинкованных сталей и *определены* направления минимизации негативного влияния термического цикла сварки на состояние цинкового покрытия: ограничение энергетического воздействия на металл ($q/V\delta$ < 2,55 10^7 Дж/м^2); использование электродных проволок с низкой температурой плавления из сплавов на основе меди, алюминия или цинка, снижение скорости истечения защитного газа до $V_{газа}$ ≤4-6 л/мин [1-А]

2. *Определены* оптимальные значения параметров импульсного электромагнитного и инерционного воздействий на процессы дуговой сварки и пайки ($I_{имп}$

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

= 350-380 А при $n_{имп}$ = 50 $с^{-1}$ для электродной проволоки из медного сплава и *а* = 2,3-3 $м/с^2$ для проволоки на основе алюминия), *обеспечивающие* устойчивость сварочных процессов при минимальной мощности дуги и *сохраняющие* защитные свойства цинковых покрытий [4-А].

3. Исследовано влияние технологии дуговой сварки и пайки, химического состава электродных материалов на коррозионную стойкость соединений, определены топографии электродных потенциалов и гальванических токов при контакте соединений с агрессивной средой и *показано,* что разность электродных потенциалов, определяющая термодинамическую неустойчивость соединений в агрессивной среде, в системе «стальной шов - цинковое покрытие» достигает +0,33 В; «медный шов - цинковое покрытие» равна -1,09 В; «алюминиевый шов - цинковое покрытие» не превышает 4),92 В [3-А, 7-А]. Плотность гальванических токов, характеризующая интенсивность коррозионных процессов, зависит от состава металла шва и может быть снижена легированием шва элементами, образующими пассивирующие пленки продуктов коррозии.

Характер распределения электродных потенциалов U_3 и гальванических токов I_r на поверхности соединения, контактирующей с агрессивной средой, *позволяет* прогнозировать интенсивность коррозионных процессов по величине значений U_3 и I_r и максимальной неоднородности их распределения.

В соединениях с медными швами в среде с pH > 8 пики значений электродных потенциалов по центру шва достигают 0,68-0,73 В, что указывает на склонность соединении к разрушению. В среде с 6 < pH < 8 шов пассивируется, пики сглаживаются, и на шве типа CuSi3 в растворе NaCl значения потенциалов снижаются до 0,012-0,14 В, *что уменьшает* интенсивность коррозионных процессов. Разность электрохимических потенциалов между швом из стали типа 18.8 и покрытием достигает 0,96 В, коррозионная стойкость таких соединений низкая [7-А].

4. Визуальным и оптическим наблюдением за образованием и ростом газовых пузырьков и изменением цвета и отражательной способности покрытия, определением весовых потерь и натурными испытаниями образцов *выявлены* особенности поведения сварных и паяных соединений при воздействии агрессивных сред и *установлено*, что при ширине повреждения покрытия, превышающей зону действия анодной защиты, ускоряется перемещение фронта интенсивной коррозии покрытия в перпендикулярном шву направлении, а затем на участке повреждения покрытия разрушается основной металл - сталь, с проникновением коррозионного процесса вглубь основного металла [3-А, 7-А].

5. *Обосновано* условие приближения коррозионной стойкости сварного или паяного соединения при коррозионно-стойком шве к стойкости основного металла, *состоящее в том,* что стойкость соединения обеспечивается, если ширина зоны повреждения b_n от воздействия термического цикла сварки и пайки меньше ширины зоны $b_{аз}$ анодной защиты *(b_n < $А_{аз}$* = 1,2-1,4 мм). При сварке стальными электродными проволоками ширина шва включается в незащищенную зону и условие коррозионной стойкости не выполняется *($2b_n + b_{шва} > b_{аз}$),*

Белорусско-Российского университета
Электронная библиотека

поэтому низкой коррозионной стойкостью обладают соединения, выполненные с использованием проволок на основе железа [7-А].

Установлено, что в 0,75%-м водном растворе HCl+NaCl коррозионностойкие соединения, выполненные электродными проволоками на основе меди (CuSi3, CuA18), но наиболее стойки соединения, выполненные проволоками на основе алюминия (AlSi5) и цинка (ZnA14), с минимальным повреждением покрытия ($2b_n < b_{аз}$) и малой разностью электродных потенциалов (<0,1 В). Проволоки из медных сплавов марок CuSi3 и CuA18 не решают проблему сохранения коррозионной стойкости сварных соединений оцинкованных сталей при воздействии среды с pH > 8 и, как и швы на основе железа, требуют дополнительной послесварочной обработки цинксодержащими составами [7-А].

6. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования коррозионной стойкости сварных и паяных соединений из оцинкованных сталей *явились научной основой* для проектирования технологических процессов дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей. *Предложена методика* проектирования технологических процессов дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей, *предусматривающая:* выбор химического состава металла шва по сопротивлению коррозии; определение способа дуговой сварки и пайки из условия получения требуемого состава шва; назначение режимов дуговой сварки и пайки, обеспечивающих ограничение тепловложения в соединение и минимальное повреждение покрытия; выбор оборудования, обеспечивающего режимы сварки и пайки и их стабилизацию на малой силе сварочного тока [2-А, 4-А].

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение механических и эксплуатационных свойств сварных и паяных соединений оцинкованных сталей, выполненных сварочными материалами разного химического состава в конструкциях и изделиях, эксплуатирующихся в различных средах.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Для реализации результатов исследований по повышению долговечности соединений разработана нормативно-техническая документация, позволившая организовать крупносерийное производство деталей из оцинкованных сталей — комплектующих трубопроводов теплотрасс.

Разработанная «Инструкция на технологический процесс механизированной дуговой пайки оцинкованных сталей» по СТБ ISO 15609-1-2009 апробирована и рекомендована к использованию на ЗАО «Завод полимерных труб» (г. Могилев). Даны рекомендации по техническому и технологическому перевооружению предприятия и использованию современного сварочного оборудования с цифровым программным управлением.

Разработанная технологическая инструкция на подготовку, сборку и механизированную дуговую пайку плавящимся электродом в среде аргона металлических заглушек изоляции из тонколистовой оцинкованной стали для концевых и фасонных элементов трубопроводов внедрена в производство в ООО «СМИТ-Ярцево», создано современное эффективное наукоемкое производство.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

По разработанным технологическим процессам дуговой пайки оцинкованных сталей в 2011 году *изготовлено* 5786 единиц изделий.

Разработанная технология механизированной дуговой пайки оцинкованных сталей рекомендована к использованию при изготовлении и ремонте различных изделий и конструкций из оцинкованных сталей (элементы воздуховодов, кабины автомобилей, строительные и другие металлические конструкции).

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в научных журналах

Павлюк, С.К. Закономерности процесса повреждения и разрушения цинкового покрытия на стали при сварке плавлением и дуговой пайке / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв, Ю.А.Цумарев // Вестник Белорусско-Российского университета.- 2008.- № 2 (19).- С. 76-84.

Павлюк,С.К. Повреждение цинкового покрытия на стали при сварке и дуговой пайке и его влияние на коррозионные процессы / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв, Ю.А.Цумарев // Сварка и родственные технологии.- 2008.- № 10.- С. 21-26.

Павлюк, С.К. Исследование гальванических токов пары электродов, покрытых тонким слоем электролита, и их влияние на коррозионные процессы / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Вестник Белорусско-Российского университета.- 2009.- № 1 (22).- С. 63-71.

Павлюк, С.К. Силовое воздействие на капли электродного металла для управления их переходом в сварочную ванну при сварке оцинкованных сталей / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки.- 2010.- № 2.- С. 115-123.

Лупачёв, А.В. Дуговая сварка и пайка оцинкованных узлов теплотрасс и их коррозионная стойкость / А.В.Лупачёв, С.К.Павлюк // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладныенауки.-2012.-№1.- С. 115-123.

Статьи в зарубежных изданиях

Павлюк, С.К. Опасность применения металлических труб, бывших в эксплуатации, при строительстве теплотрасс из комплектующих с пенополиуретановой изоляцией в стальной оцинкованной или полиэтиленовой оболочке / С.К.Павлюк, В.Г.Лупачёв, А.В.Лупачёв, О.ИСтеклов // Новости теплоснабжения.- 2010.- № 11 (123).- С. 25-29.

Стеклов, О.И. Поведение сварных и паяных соединений в коррозионной среде / О.И.Стеклов, С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Сварочное производство.- 2012.- № 4.- С. 3-6.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Статьи в сборниках научных трудов

Павлюк, С.К. Сохранение цинкового покрытия на стали при дуговой сварке в среде аргона / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Новые материалы и технологии в машиностроении / под общ. ред. Е.А.Памфилова. Сборник научных ’ трудов по итогам междунар. научн.-техн. конф. Выпуск 10.- Брянск: БГИТА.! 2009.- С. 76-80.

Лупачев, А.В. Коррозионная стойкость сварных соединений оцинкованных узлов теплотрасс из предварительно изолированных труб / А.В.Лупачёв, С.К.Павлюк // Информационные технологии, энергетика и экономика (электроэнергетика, электротехника, теплофизика и теплотехника, энерго- ″> * сбережение в технике и технологиях): Сб. трудов 7-ой Межрег. (межд.) научн.- техн. конф. студентов и аспирантов: В 3 т. / Федеральное агенство РФ по образованию.- Смоленск: Филиал ГОУ ВПО «МЭИ», 2010, Т. 1.- С. 151-155.

Материалы конференций

Лупачёв, А.В. Технологические возможности получения тонкослойных наплавок дуговой сваркой / А.В.Лупачёв // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы рес̆п. научн.-техн. конф. / М-во образования Рес̆п. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2006.- С. 99.

Павлюк, С.К. Исследование коррозионных повреждений сварных швов и металла трубопроводов / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. научн.-техн. конф.: В 3 ч..- М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев, обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус,- Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус,- Рос. ун-т, 2007.- Ч. 1.- С. 247- 248.

Павлюк, С.К. Снижение толщины наносимого слоя и уменьшение энергетического воздействия на металл при наплавке / С.К.Пашпок, А.В.Лупачёв // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технодагии: материалы междунар. научн.-техн. конф.: В 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев, обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2007.- Ч. 1.- С. 249.

Лупачёв, А.В. Отказы трубопроводов из предварительно изолированных труб и их причины / А.ВЛупачёв // Новые материалы и технологии в промышленности: материалы междунар. научн.-техн. конф. молодых ученых.- М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации»

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. М*ССа30Н0В (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2007.- С. 48.

Павлюк,С.К. Уменьшение разрушения цинкового покрытия наста при дуговой сварке. С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Материалы, оборудование Ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. научн.-техн. конф.: В 3 ч- / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. ИХХазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2008.- Ч.2.- С. 139-140.

Павлюк, С.К. Математическая модель для расчета тепловых процессов при сварке оцинкованных сталей.- С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. научн.-техн. конф.: В 3 ч.- / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.- Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2008.-4.2.- С. 141.

Лупачёв, А.В. Исследования гальванических токов пары электродов в электролите и их влияние на коррозионные процессы в оцинкованных сталях / А.В.Лупачёв // 44-я студенческая научно-техническая конференция: материалы конф.- М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.- Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2008.- С. 132-134.

Лупачёв, А.В. Расчетная модель процессов разрушения цинкового покрытия на стали при дуговой сварке / А.В.Лупачёв // 44-я студенческая научно-техническая конференция: материалы конф.- М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус,- Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2008.- С. 135.

Лупачёв, А.В. Математическое моделирование тепловых процессов при дуговой сварке сталей с защитными покрытиями // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. научн.-техн. конф. молодых ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию,- Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус,- Рос. ун-т, 2008.- С. 71.

Лупачёв, А.В. Снижение повреждения цинкового покрыггия на стали в соединениях, выполненных механизированной импульсно-дуговой сваркой *Н* Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. научн.-техн. конф. молодых ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию,- Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2008.- С. 72.

Павлюк, С.К. Влияние степени повреждения цинкового покрытия при дуговой сварке на коррозионную стойкость соединений из оцинкованных

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

сталей / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие : материалы междунар. научн.-техн. конф.: В 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. Обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь.- Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус,- Рос. ун-т, 2009, Ч. 2.- С. 105.

Лупачев, А.В. Определение минимальной толщины цинковых покрытий сварных соединений, сохраняющих антикоррозионную защиту / А.В.Лупачев // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы 3-й междунар. научн.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорусская ассоциация неразрушающего контр, и техн. диагн., Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус,- Рос. ун-т, 2009.- С. 181-182.

Лупачев, А.В. Физическая модель перехода капель электродного металла в сварочную ванну при дуговой сварке оцинкованных сталей / А.В.Лупачев// Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. научн.-техн. конф. молод, ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2009.- С. 57.

Павлюк, С.К. Выбор сварочных материалов для различных способов соединения оцинкованных сталей / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. научн.- техн. конф.: В 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Могилев. Обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь,- Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус,- Рос. ун-т, 2010, Ч. 3.- С. 36- 37.

Павлюк, С.К. Энергоэффективная технология механизированной дуговой сварки узлов теплотрасс и воздуховодов из оцинкованных сталей / С.К.Павлюк, А.В.Лупачёв // Энергоэффективные технологии. Образование. Наука. Практика : материалы междунар. научно-практич. конф.: В 3 т. / М-во образования Респ. Беларусь, Белорусский национальный техни>*ский университет, Республиканский институт инновационных технологий / под ред. А.Л.Соломахо.-Минск:БНТУ,2010,Т.2.-С.160-164.

Лупачев, А.В. Повреждение антикоррозионных цинковых покрытий при дуговой сварке проволоками на основе меди / А.В.Лупачев // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. научн.-техн. конф. молод, ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2010.- С. 74.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Лупачев, А.В. Исследование топографии электродных потенциалов сварных соединений оцинкованных сталей / А.В.Лупачев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. научн.-техн. конф. : В 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Могилев, обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Белорус.-Рос. ун-т.- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2011.- Ч. 1.- С. 233-234.

Лупачев, А.В. Выбор электродных материалов для дуговой сварки оцинкованных сталей / А.В.Лупачев // Технологии. Оборудование. Качество : 1-й международный симпозиум «Белорусский промышленный форум-2011» : сборник материалов форума.- Минск: Выставочное предприятие «Экспофорум», 2011.- С. 177-178.

Лупачев, А.В. Допустимая ширина зоны повреждения цинкового покрытия сваркой для сохранения анодной защиты / А.В.Лупачев // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. научн.-техн. конф. молод, ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И.С.Сазонов (гл. ред.) [и др.].- Могилев: Белорус.- Рос. ун-т, 2011.- С. 56.

Патенты на изобретения и полезные модели

Патент на полезную модель BY 5134 2009.04.30, МПК (2006) B 23 K 3/00. Паяное соединение внахлестку / С.К.Павлюк, Ю.А.Цумарев, А.В.Лупачев, Е.Н.Цумарев (BY).- № u 20080487; заявл. 17.06.08; опубл. 30.04.09; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Завод полимерных труб» (BY).

Патент на полезную модель BY 5135 2009.04.30, МПК (2006) B 23 K 3/00. Устройство для пайки электрической дугой / С.К.Павлюк, Ю.А.Цумарев, А.В.Лупачев (BY).- № u 20080488; заявл. 17.06.08; опубл. 30.04.09; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Завод полимерных труб» (BY).

Патент на полезную модель BY 6800 2010.12.30, МПК (2009) B 23 K 3/00. Паяное соединение труб / С.К.Павлюк, А.В.Лупачев, Ю.А.Цумарев (BY).- № u 20100419; заявл. 29.04.10; опубл. 30.12.10; заявитель и патентообладатель ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» (BY).

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

РЕЗЮМЕ

Лупачёв Андрей Вячеславович

Обеспечение коррозионной стойкости сварных и паяных соединений оцинкованных сталей регулированием тепловложения и состава шва

Ключевые слова: оцинкованные стали, сварка, коррозия.

Объект исследования - цинковые покрытия в зоне термического влияния сварных и паяных соединений тонколистовых оцинкованных сталей.

Предмет исследования - процессы разрушения цинкового покрытия при термомеханическом воздействии дуговой сварки и последующей эксплуатации сварных соединений в коррозионно-активных средах.

Цель работы - выявить механизмы повреждения цинковых покрытий на стальных элементах трубопроводов при дуговой сварке и пайке и разработать пути повышения стойкости к коррозии сварных и паяных соединений до уровня стойкости основного металла.

Методы исследования и аппаратура.

Физическое и математическое моделирование процессов сварки и коррозионного разрушения сварных соединений, лабораторные и натурные коррозионные испытания, измерение электродных потенциалов на поверхности сварных соединений, металлографические исследования; статистические методы обработки результатов измерений. При экспериментальных исследованиях применяли: разрывные машины WDW-20 и МР-05-1; весы измерительные HCB123 Adom Equipment CO Ltd; программно-аппаратный комплекс «Shark»; металлографический микроскоп Neophot-21; микроскоп бинокулярный; цифровой мультиметр Mastech MS8221C.

Полученные результаты и их новизна.

Установлены закономерности повреждения цинковых покрытий под воздействием сварочного нагрева. Выявлены пути минимизации последствий воздействий сварочного нагрева для коррозионной стойкости соединений. Развиты представления о коррозионном разрушении соединений оцинкованных сталей, выполненных дуговой сваркой и пайкой, с использованием сварочных материалов на основе железа, меди, алюминия, цинка. Определены топография электродных потенциалов и гальванические токи на поверхности соединений, покрытых электролитом. Установлена максимальная ширина поврежденного цинкового покрытия, обеспечивающая действие анодной защиты. Разработана методика проектирования технологических процессов дуговой сварки и пайки оцинкованных сталей и внедрена в производство для изготовления деталей трубопроводов теплотрасс.

Степень использования или рекомендации по использованию.

Создано современное эффективное наукоемкое производство комплектующих элементов из оцинкованных сталей для трубопроводов теплотрасс. В 2011 году изготовлено 5786 единиц изделий.

Область применения. Дуговая сварка и пайка при изготовлении и ремонте различных изделий и конструкций из оцинкованных сталей.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

РЭЗЮМЭ

Лупачоў Андрэй Вячаслававіч

Забеспячэнне каразійнай трываласці зварных і паяных злучэнняў ацынкаваных сталяў рэгуляваннем цеплаўкладаннем і саставам шва

Ключавыя словы: ацынкаваныя сталі, зварка, карозія.

Аб'ект даследавання — цынкавае пакрыццё ў зоне тэрмічнага ўздзеяння зварных і паяных злучэнняў тонкаліставых ацынкаваных сталяў.

Прадмет даследавання - працэсы разбурэння цынкавага пакрыцця пры тэрмамеханічным уздзеянні дугавой зваркі і наступнай эксплуатацыі зварных злучэнняў у каразійна актыўным асяродцзі.

Мэта даследаваннн — выявіць механізмы пашкоджання цынкавага пакрыцця на сталёвых частках трубаправодаў пры дугавой зварцы і распрацаваць шляхі павышэння ўстойлівасці супраць карозіі злучэнняў да трыва- ласці асноўнага металу.

Метады і апаратура для даследаванняў.

Фізічнае і матэматычнае мадэліраванне працэсаў зваркі і каразійнага разбурэння зварных і паяных злучэнняў, лабараторныя і натурныя каразійныя выпрабаванні, вымярэнне электродных патэнцыялаў на паверхні злучэнняў, металаграфічныя даследаванні; статыстычныя метады апрацоўкі вынікаў вымярэнняў. Пры эксперыментальных даследаваннях выкарыстоўвалі: разрыўныя машыны WDW-20 и MP-05-1; вагі вымяральныя HCB123 Adom Equpment CO Ltd; гіраграмна-апаратны комплекс «Shark»; металаграфічны мікраскоп Neophot-21; мікраскоп бінакулярны; мульціметар Mastech MS822lC.

Атрыманыя вынікі і іх навізна.

Устаноўлены заканамернасці пашкоджання цынкавага пакрыцця пад уздзеяннем зварачнага нагрэву. Выяўлены шляхі мінімізацыі вынікаў зварачнага нагрэву для павышэння каразійнай трываласці злучэнняў. Развіты ўяўленні аб каразійным разбурэнні злучэнняў ацынкаваных сталяў, выкананых дугавой зваркай і пайкай, з выкарыстаннем зварачных матэрыялаў на аснове жалеза, медзі, алюмінію, цынку. Вызначаны тапаграфіі электродных патэнцыялаў і гальванічныя токі на паверхні злучэнняў, пакрытых слоем электраліту. Устаноўлена максімальная шырыня пашкоджанага цынкавага пакрыцця адносна шву, якое забяспечвае дзеянне аноднай абароны. Распрацавана методыка пра- ектавання тэхналагічных працэсаў дугавой зваркі і пайкі ацынкаваных сталяў і ўкаранёна ў вытворчасць для вырабу дэталяў трубаправодаў цеплатрас.

Ступень выкарыстання або рэкамендацыі па выкарыстанню.

Створана навуковае забеспячэнне сучаснай эфектыўнай навукаёмкай вытворчасці зварных дэталяў з ацынкаваных сталяў трубаправодаў цеплатрае. У 2011 годзе выраблена 5786 адзінак прадукцыі.

Галіна прымянення.

Дугавая зварка і пайка пры вытворчасці і рамонце розных вырабаў і канструкцый з ацынкаваных сталяў.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Lupachev Andrey Vyacheslavovich

«Providing corrosion resistance of welded and brazed joints galvanized steel structure and regulation of heat input weld»

Main words: galvanized steel, weid, corrosion.

Object of research - zinc coating in the heat affected zone of welded and brazed joints of thin sheets of galvanized steel.

Subject of research - process of destruction of the zinc coating at the thermo- mechanical effects of arc welding and subsequent operation of welded joints in corrosive environments.

Purpose— identify mechanisms of damage to zinc coatings on steel piping elements in arc welding and soldering and to develop ways to improve the corrosion resistance of welded and brazed joints to the level of resistance of the basic material.

Research methods and apparatus.

Physical and mathematical modeling of welding processes and corrosion fracture of welded joints, laboratory and field corrosion tests, the measurement of electrode potentials on the surface of welds, metallographic studies, statistical methods for processing measurement results. In experimental studies was used a bursting machine WDW-20 and MP-
5- 1; the measuring scales HCB123 Adom Equipment CO Ltd; hardware software complex «Shark»; metallographic microscope Neophot-2l; binocular microscope: digital multimeter Mastech MS8221C.

Got results and their novelty.

The laws of zinc coatings damage under the influence of the welding heat. The ways of minimizing the last interaction effects of welding heat to the corrosion resistance of the compounds. The theoretical position of corrosion failure of welded joints of galvanized steel, made of arc welding and soldering, welding, using materials based on iron, copper, aluminum and zinc. Detemined by the topography of the electrode potentials and galvanic currents on the surface of the compounds covered by the electrolyte. Set a maximum width of the damaged zinc coating which provides force protection anode. A method for the design process of arc welding and brazing of galvanized steel and put into production for the manufacture of parts of heat pipes.

The degree of use or recommendation for use.

A modem efficient production of high technology component elements of galvanized steel pipes for heating was created in 2011 there were manufactured 5786 units of product. ,

Range of application. Arc welding and soldering in tire manufacture and repair of various components and structures of galvanized steel.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета