

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи  
УДК 621.791.763.1.2

**ЕМЕЛЬЯНОВ  
СВЕТОЗАР НИКОЛАЕВИЧ**

**КОНТАКТНАЯ СВАРКА ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ С СОХРАНЕНИЕМ  
ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ПОСРЕДСТВОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.03.06  
«Технологии и машины сварочного производства»

Могилев, 2010

**Работа выполнена в ГУВПО «Белорусско-Российский университет»**

Научный руководитель: **Березиенко Валерий Петрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технология сварочного производства» ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев.

Официальные оппоненты: **Денисов Леонид Сергеевич**, доктор технических наук, главный сварщик ОАО «Химремонт», г. Минск.

**Кузменко Игорь Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Сопротивление материалов» ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев.

Оппонирующая организация: **Белорусский национальный технический университет**, г. Минск.

Защита диссертации состоится « 11 » июня 2010 г. в 14<sup>00</sup> на заседании совета по защите диссертаций К 02.18.01 при ГУВПО «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212030, г. Могилев, пр-т Мира, 43, корп. 1, ауд. 323, тел. (8-0222) 22-52-12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУВПО «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан « 6 » мая 2010 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
доктор физ.-мат. наук, профессор

Борисов В.И.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В последнее время наблюдается рост объема применения сталей с легкоплавкими цинкосодержащими покрытиями. Они используются при изготовлении автомобилей, сельхозмашин, вентиляционного и других видов оборудования. Одним из наиболее распространенных способов соединения таких сталей является контактная сварка, которая обеспечивает высокие показатели производительности, механизации и автоматизации, низкую энергоемкость, высокую культуру производства.

Однако наличие цинкового покрытия на свариваемом металле оказывает существенное влияние на протекание процесса контактной сварки и, как правило, снижает качество соединения. Это связано с низкой температурой плавления покрытия, его значительными различиями в механических и теплофизических свойствах по сравнению с основным металлом, загрязнением сварочных электродов и т.д. Поэтому большинство существующих технологических способов контактной сварки оцинкованных сталей направлено на максимальное разрушение и вытеснение цинкового покрытия из зоны сварки, с целью уменьшения его влияния на качество и прочность сварного соединения. Резко снижающиеся при этом антикоррозионные свойства соединения восстанавливают после сварки грунтовкой поверхностей, их покраской и другими способами, что снижает экономические показатели процесса изготовления изделий и его эффективность.

В этой связи поиск путей, позволяющих разработать технологический процесс контактной сварки оцинкованных сталей без разрушения покрытия и нарушения его антикоррозионных свойств, является актуальной задачей. В работе эта задача решена за счет разработки новых способов регулирования термомодеформационных процессов, протекающих в зоне сварки, в основном металле и сварочных электродах, а также созданием устройств для их реализации в условиях производства.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с научными программами (проектами) и темами**

Тема диссертации соответствует следующим приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006-2010 годы (Перечень утвержден Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512):

2. Механика машин, обеспечение надежности и безопасности технических систем, повышение конкурентоспособности продукции машиностроения: (2.3 компьютерное моделирование и испытание машин и механизмов; 2.4 создание новых компонентов машин и оборудования для машиностроительного комплекса);

6. Математическое и физическое моделирование систем, структур и процессов в природе и обществе, информационные технологии, создание совре-

менной информационной инфраструктуры (6.1 математические модели и их применение к анализу систем и процессов в природе и обществе).

Научные исследования по теме диссертации проводились в соответствии с планом НИР Белорусско-Российского университета ГБ № 0621, раздел «Совершенствование технологии контактной точечной и рельефной сварки с целью повышения производительности и снижения материальных затрат», по договору творческого содружества с ПО "Москвич" по теме «Повышение прочностных характеристик точечных соединений узлов автомобиля», в выполнении которых принимал участие соискатель.

### **Цель и задачи исследования**

*Целью исследований* является разработка параметров технологического процесса контактной сварки оцинкованных сталей, обеспечивающих сохранение защитного покрытия, его антикоррозионных свойств и требуемые прочностные показатели сварных соединений.

Для достижения цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработана математическая модель процесса контактной точечной сварки сталей с цинкосодержащими покрытиями, отличающаяся учетом свойств и толщины покрытия, динамического изменения сопротивления и давления в зоне контакта электродов и изделий в процессе сварки и позволившая установить механизмы разрушения покрытия в зависимости от термомеханических условий сварки, форм и размеров применяемых электродов.

2. На основании исследования процессов, происходящих в покрытии при изменении основных технологических параметров сварки, таких как сопротивление контактов электродов и деталей, время нарастания сварочного тока, величина и время приложения усилия сжатия на завершающем этапе сварки, установлены научно-обоснованные условия сохранения цинкосодержащего покрытия.

3. На базе теоретически и экспериментально установленных условий формирования сварных соединений предложены практические рекомендации по выбору параметров режима сварки, позволяющие реализовать термомеханические циклы, обеспечивающие сохранение цинкового покрытия.

4. Разработаны и внедрены в производство новые способы и электродные устройства для контактной точечной и рельефной сварки сталей с покрытиями, а также рекомендации по выбору технологических параметров режима сварки, обеспечивающие сохранение покрытия и одновременно требуемые прочностные свойства изделий, повышенную стойкость сварочных электродов.

### **Объект и предмет исследований**

*Объектом исследований* являются сварные соединения, выполненные контактной сваркой на сталях с защитными цинкосодержащими покрытиями. *Предметом исследований* являются основные факторы, влияющие на процесс деформирования покрытия, и способы регулирования термомеханического состояния металла зоны соединения и материала сварочных электродов, обеспечивающие высокие коррозионные и прочностные свойства сварных соединений, повышенную стойкость сварочных электродов.

## Положения выносимые на защиту

1. Впервые определены научно-обоснованные условия сохранения защитного покрытия при контактной сварке и пути их реализации в конкретном технологическом процессе. Теоретически установлено и подтверждено экспериментально, что сохранение покрытия обеспечивается созданием в зоне контакта сварочных электродов с покрытием такого напряженно-деформированного состояния металла, при котором минимизируются касательные (сдвиговые) напряжения и деформации и создается максимальное сопротивление пластическому течению металла покрытия в направлении от центра к периферии сварного соединения.

2. Минимальные касательные (сдвиговые) напряжения и деформации, обеспечивающие сохранение покрытия достигаются:

– поддержанием падения напряжения на контактах электродов с изделием не выше  $0,9 U_p$  ( $U_p$  – напряжение размягчения) и давлений в зоне сварки, не превышающих предел текучести материала покрытия;

– применением модулированной формы импульса тока на начальном этапе сварки, что обеспечивает снижение напряжения на участках электрод-деталь ниже  $0,9 U_p$ . Длительность модуляции зависит от толщины свариваемых деталей и определяется по формуле  $\tau_{mod} = \exp\left(\frac{0,59}{\sqrt{\delta}} - 2,89\right)$ ;

– применением электродов с плоской формой рабочих поверхностей и выбором площади рабочей поверхности  $S_э$  электрода в случае использования рельефно-точечной и точечной сварки по зависимости:

$$S_э = \exp\left(\sqrt{58,2 - \frac{285U_p - 56\delta}{\sqrt{\delta}}}\right).$$

3. Максимальное сопротивление пластическому течению материала покрытия и предотвращение налипания его на электроды достигается:

– приложением ковочного усилия до момента достижения температуры  $100-120$  °С в зоне контактов электродов и покрытия, продолжительность приложения которого определяется по формуле:

$$\tau_{ков} \geq \left(0,133 + 0,71\sqrt{\tau_{св}} - \frac{0,05}{\delta}\right);$$

– применением жестких режимов сварки, обеспечивающих температуру в зоне контактов электродов с деталями не выше температуры размягчения материала покрытия и требуемые прочностные свойства сварного соединения;

– соблюдением темпа сварки не выше 30 точек в минуту при охлаждении электродов жидкостью, имеющей температуру  $10$  С. При охлаждении сварочных электродов жидкостью с температурой минус  $40$  °С темп сварки может быть увеличен в 1,5 раза.

4. Сохранение толщины защитного покрытия на уровне не менее 90 % от его первоначального значения обеспечивается использованием промежуточных электродов в виде медной фольги. При этом происходит увеличение сопротивления пластическому течению металла покрытия и полностью предотвращается налипание материала покрытия на электроды.

**Личный вклад соискателя.** Автором лично разработана математическая модель упругопластического деформирования металла зоны соединения при точечной и рельефной сварке сталей с покрытиями. Определены научно-обоснованные условия сохранения покрытия и предотвращения коррозии соединений, получаемых контактной точечной и рельефной сваркой. Предложены практические рекомендации по выбору параметров режима сварки, позволяющие реализовать термомодеформационные циклы, обеспечивающие сохранение цинкового покрытия. Научному руководителю принадлежит общая идея работы. Определение целей и задач исследований, обобщение полученных результатов проводилось с руководителем. В совместных с научным руководителем работах автор осуществлял постановку задач, разрабатывал методики и проводил теоретические и экспериментальные исследования, осуществлял подготовку научных публикаций и представление докладов на конференциях. В работах, опубликованных с соавторами (В.П. Березиенко, В.А. Попковский, С.М. Фурманов, Ю.А. Цумарев, Е.Ю. Латыпова) автор участвовал на всех этапах их выполнения.

**Апробация результатов диссертации.** Материалы диссертации докладывались и обсуждались на всесоюзной научно-технической конференции «Проблемы совершенствования контактной точечной сварки» (Псков, 1987), научно-технической конференции «Ученые и специалисты – народному хозяйству» (Могилев, 1989), международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2007), международных научно-технических конференциях «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Могилев, 2006, 2008, 2009).

**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 1,75 авторских листа, 5 тезисах докладов на международных научно-технических конференциях. Получены 1 патент Российской Федерации, 5 патентов на полезную модель Республики Беларусь, 3 авторских свидетельства СССР на изобретения с общим объемом 3,2 авторских листа.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 166 страниц. Она содержит 87 рисунков на 37 страницах, 6 таблиц на 3 страницах, 2 приложения на 20 страницах и 102 библиографические ссылки на 8 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, дана общая характеристика работы.

В **первой главе** проведен анализ литературных данных по теме диссертации. Выявлены основные трудности, возникающие при контактной сварке сталей с цинкосодержащими покрытиями, в том числе с покрытиями на основе эпоксидной смолы (цинкрометалла), и известные способы их преодоления. Определены основные требования, предъявляемые к качеству сварных соединений сталей с покрытиями. Показано, что при сварке деталей с защитными покрытиями наблюдается повышенный износ и загрязнение сварочных электродов, обусловленные тем, что в зонах контактов электродов и легкоплавкого покрытия имеет место сложное напряженное состояние, протекают нестационарные тепловые процессы. Важную роль в процессе вытеснения покрытия из зоны контактирования электродов с изделием играет форма рабочей поверхности электродов, которая оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства соединений.

Проведен обзор существующих способов контактной сварки сталей с цинкосодержащими покрытиями. Над проблемами контактной сварки металлов с покрытиями работали А.И. Гуляев, В.А. Гилевич, А.В. Вакатов и др. Показано, что используемые способы сварки оцинкованных листов приводят к уменьшению коррозионной стойкости изделия за счет как расплавления, так и вытеснения цинкового покрытия из зоны сварки. Все существующие рекомендации основаны на экспериментальных методах выбора параметров режима и сводятся к использованию повышенных значений параметров режима сварки (сварочного тока, времени сварки и усилий сжатия) по сравнению со сваркой аналогичных сталей без покрытия. Никто из исследователей не решал вопрос сохранения защитного покрытия, создания способов и устройств, позволяющих получить качественное сварное соединение с высокими эксплуатационными свойствами. Предложенные ранее способы сварки нуждаются в дальнейшем совершенствовании с целью повышения стойкости электродов, разработки критериев получения соединения стабильного качества, сохранения антикоррозионных свойств покрытия.

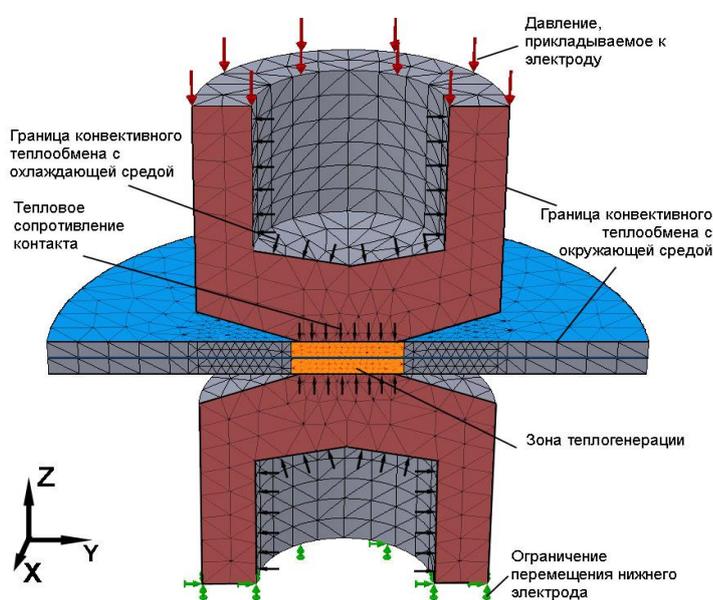
Обобщенных данных, используя которые можно определить соответствующие параметры режима сварки сталей с покрытиями и обеспечить стабильные показатели качества соединений, не выявлено. Системный подход к решению задачи выбора параметров режима и технологии контактной точечной сварки сталей с покрытиями на основании исследования термодформационного цикла сварки до настоящего времени не разработан.

Проведен анализ известных моделей и методов расчета термодформированного состояния межэлектродного пространства в процессе контактной точечной сварки. Многие вопросы расчета напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения при контактной точечной сварке решены в России (Куркин А.С., Киселев С.Н., Судник В.А., Ерофеев В.А.), в США (Nied H.A., Sun X., Dong P., Kimchi M., Holmes S., M. Eagar W., Calva M.). Однако углубленного исследования процесса деформирования поверхностей изделий при контактной сварке сталей с покрытиями в научных работах указанных авторов не проводилось. Следует отметить, что в вышеуказанных исследованиях

не рассматривался характер протекания термомодеформационных процессов в свариваемых деталях в объемной постановке.

Анализ существующих методов расчета термомодеформационного состояния показывает, что в них отсутствует учет зависимости контактных тепловых сопротивлений от действующих в зоне контакта давлений и температур, а также циклически изменяющихся тепловых и силовых нагрузок в сварочных электродах. Кроме того, в известных методах расчета не принимались во внимание толщина, механические и теплофизические свойства покрытия, имеющие существенное отличие от свойств основного металла.

**Вторая глава** посвящена разработке математической модели, описывающей термомодеформационные процессы, происходящие при контактной сварке сталей с покрытиями, и ее численной реализации на основе метода конечных элементов. На рисунке 1 показана конечно-элементная модель образования сварного соединения, включающая в себя объемные изопараметрические четырехузловые элементы.



**Рисунок 1 – Конечно-элементная модель расчета тепловых и деформационных полей в процессе образования точечного соединения**

ется эффект тепловыделения за счет скрытой теплоты плавления, отслеживается кинетика изменения объемных тепловых и деформационных полей.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных позволило сделать заключение об адекватности и работоспособности выбранной расчетной модели и методики в целом. При этом установлено, что отклонение результатов расчета от экспериментальных данных по температуре поверхности электродов при сварке не превышает 6%.

На основе разработанной математической модели проведен анализ тепловых полей при контактной сварке сталей с цинкосодержащими покрытиями на рекомендуемых в технической литературе параметрах процесса. Он показал,

В отличие от известных разработанная методика моделирования термомодеформационного цикла контактной сварки учитывает изменение контактных тепловых сопротивлений в зависимости от действующих в зоне контакта давлений и температур. Она позволяет проводить расчеты для различных толщин покрытия, учитывает изменение механических и теплофизических свойств основного металла и материала покрытия при изменении температуры, а также процессы упругопластического деформирования материала покрытия на всех этапах цикла сварки. Посредством использования пошагово-совмещенного анализа учитывается

что максимальная температура поверхности детали в центре пятна контакта электрод-деталь, в момент выключения сварочного тока, составляет 600-640 °С. Данные температуры значительно превышают температуры плавления цинко-содержащих покрытий, приводят к заметному снижению предела текучести основного металла и материала сварочных электродов. Результаты расчетов показали, что при использовании рекомендуемых в технической литературе параметров режима сварки, возникающие контактные давления приводят к упруго-пластическому деформированию и вытеснению материала покрытия из зоны контактов электродов с деталями.

Проведено исследование влияния формы рабочей поверхности сварочных электродов на распределение давлений в зоне контакта электродов с покрытием. Анализ данных математического моделирования и металлографических исследований показал, что при сварке электродами со сферической рабочей поверхностью контактные давления имеют значения до 300 МПа и сконцентрированы в центральной зоне пятна контактов покрытия с поверхностью сварочных электродов. Это приводит к значительному пластическому деформированию металла покрытия, его вытеснению с центральной части на периферию пятна контакта. Показано, что использование электродов с плоской рабочей поверхностью позволяет снизить неравномерность распределения контактных давлений и их величину до значений, не превышающих предел текучести материала покрытия.

В результате проведенных исследований установлены конструктивные и технологические факторы, оказывающие существенное влияние на процесс деформирования покрытия.

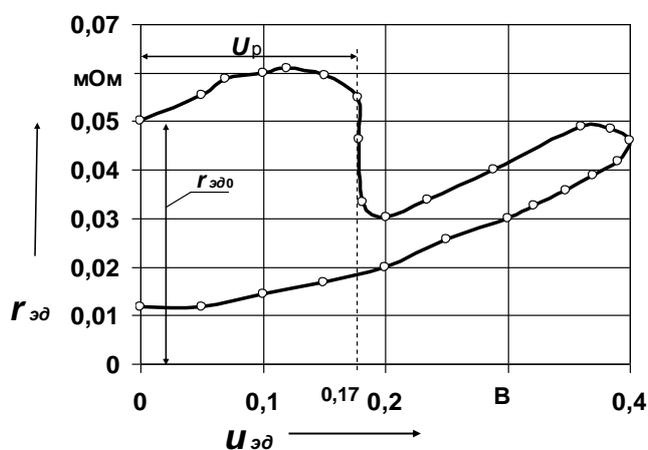
**В третьей главе** описаны разработанные с участием автора методики экспериментальных исследований. При создании экспериментальной установки использована новая методика исследования параметров технологического процесса контактной сварки, отличающаяся возможностью измерения и записи быстропротекающих электрических процессов в реальном времени. Экспериментальная установка включала модернизированную машину для контактной точечной сварки МТ-3201, устройство для регистрации величины сварочного тока (датчик ДТПХ-32000 на основе эффекта Холла), систему сбора данных USB - 6001, обеспечивающую регистрацию и обработку электрических сигналов сварочного тока и напряжений на контактах электрод-деталь и электрод-электрод, портативную ЭВМ, использующую современное программное обеспечение LabView 7.1.

Испытания сварных образцов точечных соединений с цинкосодержащими покрытиями на статическую прочность осуществлялись при действии растягивающей нагрузки, на циклическую прочность – совместным действием усилий изгиба и среза. Ударные испытания проводились на маятниковых копрах КМ-5 и КМ-20 при нагружении на ударный изгиб с помощью специально разработанной методики и запатентованных образцов для испытаний, что позволило впервые определить ударную вязкость сварных соединений с цинкосодержащими покрытиями. Испытания на коррозионную стойкость проводились по ме-

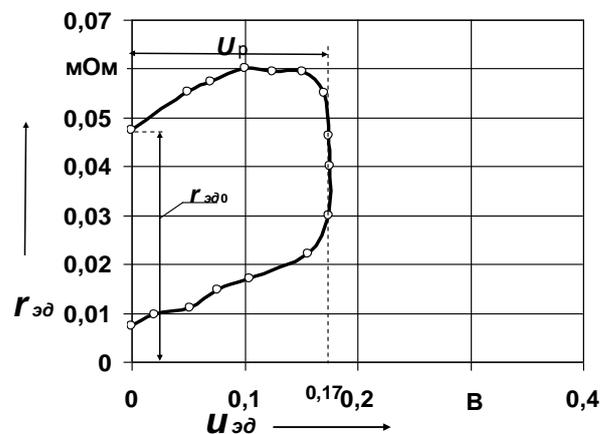
тодике, отвечающей требованиям действующих стандартов. Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью статистических методов.

**Четвертая глава** посвящена исследованию способов сохранения цинко-содержащего покрытия в местах контактов электродов с изделием. По результатам проведенных экспериментальных исследований и статистической обработки данных определены закономерности изменения контактных сопротивлений в процессе сварки при различных параметрах режима. Анализ результатов измерения сопротивлений показал, что на сопротивление участка электрод-деталь  $r_{эд}$  влияют форма и размеры контактной поверхности сварочного электрода, а также толщина свариваемых деталей. Увеличение усилия сжатия приводит к уменьшению только начального сопротивления участка электрод-деталь. Изменение толщины покрытия на свариваемых деталях в диапазоне от 20 до 50 мкм при толщине свариваемых деталей от 0,5 мм до 1,9 мм не приводит к изменению контактных сопротивлений.

Проведенные экспериментальные исследования зависимости электрических сопротивлений  $r_{эд}$  от напряжения в контакте электрод-деталь  $U_{эд}$  показали, что для обеспечения сохранения покрытия в контакте электрод-деталь необходимо, чтобы фактическое падение напряжения при сварке не превышало напряжения размягчения цинкового покрытия  $U_p$ . Типичные « $r - U$ » характеристики для случаев контактной сварки с разрушением покрытия и его сохранением представлены на рисунках 2 и 3 соответственно.



**Рисунок 2 – Типичная  $r - U$  характеристика контакта электрод - деталь при разрушении покрытия**



**Рисунок 3 – Типичная  $r - U$  характеристика контакта электрод - деталь при сохранении покрытия**

Проведенные в дальнейшем металлографические исследования и коррозионные испытания сварных соединений показали, что в тех случаях, когда на контактах электрод-деталь напряжение было ниже напряжения размягчения  $U_p$ , вытеснение цинко-содержащего покрытия было незначительным (не превышало величины 20% от толщины покрытия), а сварные соединения обладали требуемой коррозионной стойкостью. В этой связи обязательным условием сохранения защитного покрытия изделий, получаемых контактной точечной и рельеф-

ной сваркой, является поддержание падений напряжений на контактах электродов с изделием не выше  $0,9 U_p$ .

Чтобы не допустить нагрева покрытия до температур выше  $190^\circ\text{C}$  (температуры размягчения цинкового покрытия) и сохранить, таким образом, покрытие в зоне электрод-деталь, необходимо, чтобы сварочный ток ( $I_{св}$ , кА) не превышал следующей величины:

$$I_{св} = \frac{0,9U_p}{r_{эд}} \quad (1), \text{ где } U_p \text{ — напряжение размягчения материала покрытия, В; } r_{эд} \text{ — сопротивление участка электрод-деталь, мОм.}$$

Сопротивление контактов электродов с деталями ( $r_{эд}$ , мОм) в процессе протекания тока не должно превышать величины, определяемой по эмпирической формуле:

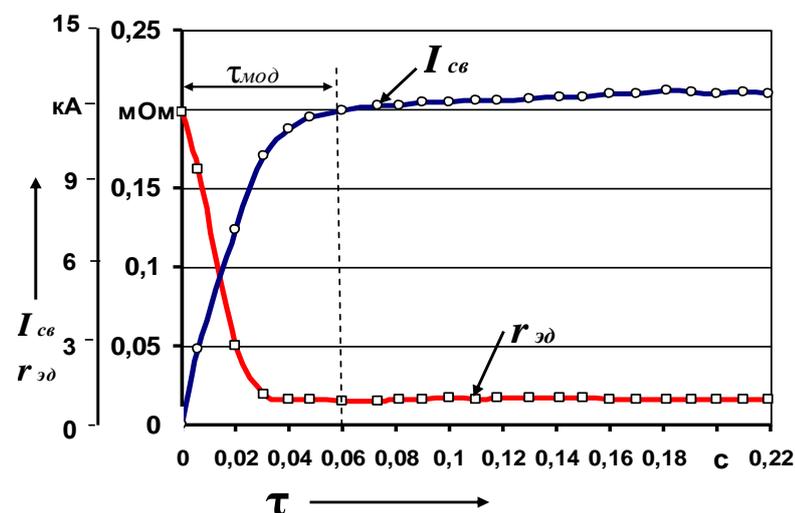
$$r_{эд} = \frac{0,082U_p}{\sqrt{\delta}}, \quad (2), \text{ где } \delta \text{ — толщина свариваемого материала, мм.}$$

Эмпирический коэффициент  $0,082$  имеет размерность  $\text{мм} \cdot \text{А}^{-1}$ .

Поскольку сопротивление  $r_{эд}$  в начальный период сварки равно сопротивлению холодного контакта ( $r_{эд\text{ хол}}$ ) и значительно выше рекомендуемого по формуле (2) значения, то для предотвращения нагрева цинкосодержащего покрытия до температуры размягчения и тем более температуры плавления, максимальная величина тока ( $I_{св.нач}^{max}$ , А) в начальный период сварки должна быть

$$\text{не больше следующего значения: } I_{св.нач}^{max} = \frac{0,9U_p}{r_{эд\text{ хол}}} \quad (3). \text{ Чтобы обеспечить снижение величины сварочного тока в начальный момент сварки на однофазных машинах, преимущественно используемых для сварки сталей с покрытиями, необходимо осуществлять модуляцию сварочного тока (рисунок 4).}$$

На основании установленного характера изменения сопротивлений в зоне контакта электрод-деталь предложена эмпирическая зависимость, позволяющая определить время модуляции сварочного тока ( $\tau_{mod}$ , с):



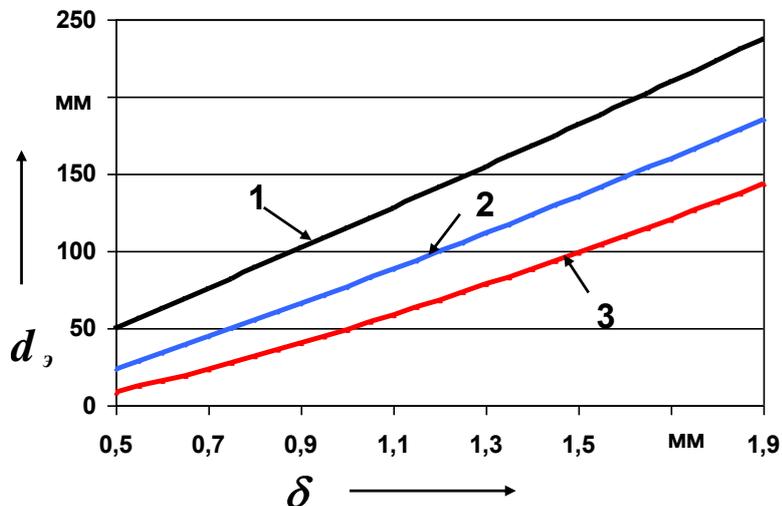
**Рисунок 4 – Характер изменения сопротивления участка электрод-деталь  $r_{эд}$  в процессе протекания сварочного тока  $I_{св}$**

Рассчитанное время модуляции позволяет исключить появление в начальный период сварки в зоне контактов сварочных электродов и деталей напряжения  $U_{эд} > U_p$ .

$$\tau_{mod} = \exp\left(\frac{0,59}{\sqrt{\delta}} - 2,89\right) \quad (4).$$

Установленная зависимость контактного электросопротивления от толщины свариваемых деталей (2) и данные обработки результатов экспериментов позволили определить минимальные значения площади рабочей поверхности

сварочного электрода ( $S_э$ , мм<sup>2</sup>) при использовании рельефно-точечной и точечной сварки:  $S_э = \exp \sqrt{58,2 - \frac{285U_p - 56\delta}{\sqrt{\delta}}}$  (5). Зависимость (5) представлена на рисунке 5 для электродов с плоской рабочей поверхностью диаметром  $d_э$  для покрытий с различным напряжением размягчения.



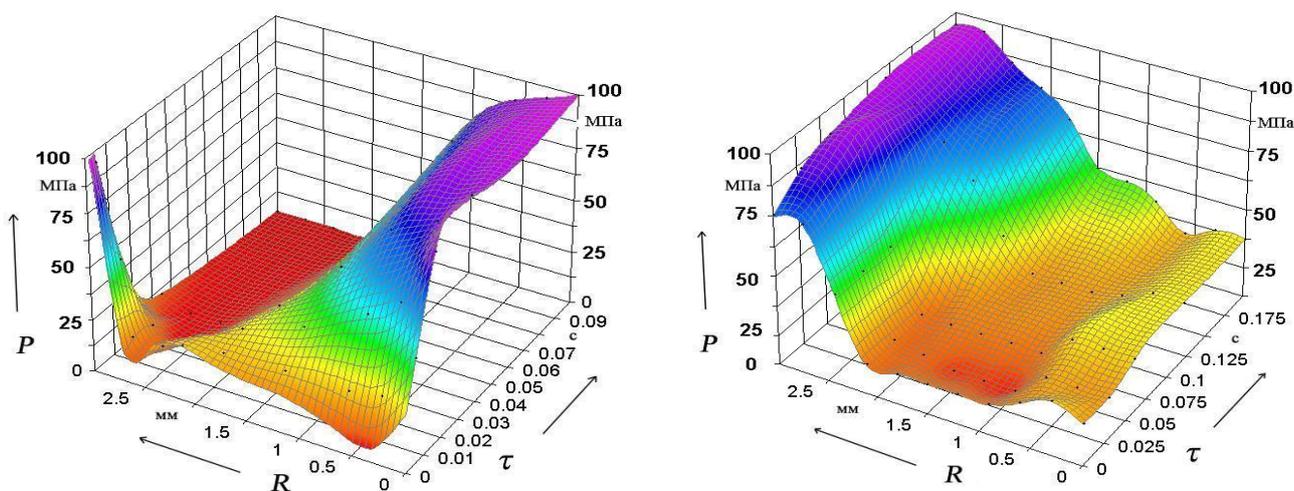
1-  $U_p=0,1$  В; 2-  $U_p=0,15$  В; 3-  $U_p=0,2$  В

**Рисунок 5 – Выбор диаметра контактной поверхности сварочного электрода  $d_э$  в зависимости от толщины свариваемых деталей  $\delta$  для покрытий с различным напряжением размягчения  $U_p$**

Одним из способов сохранения покрытия является использование медной фольги при точечной сварке в качестве промежуточного электрода. Для выбора толщины фольги были проведены численные эксперименты по определению температуры и контактных давлений в зоне соединения.

Расчеты температурных полей при сварке показали, что существенных различий в распределении температурного поля в покрытии с применением медной фольги и без нее не наблюдается.

Распределение контактных давлений в покрытии в зоне электрод-деталь при сварке с применением рекомендаций (1), (3), (4), (5) при использовании медной фольги и без нее представлены на рисунках 6 а и б соответственно.



а)

б)

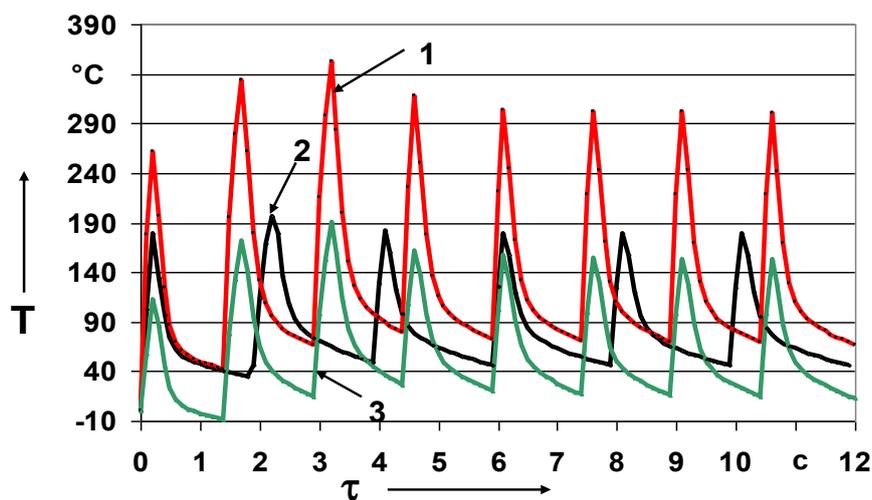
Точечная сварка металла толщиной 1мм а – без фольги (покрытие толщиной 25 мкм); б - с использованием фольги толщиной 50 мкм (покрытие толщиной 25 мкм).

**Рисунок 6 – Изменение давлений  $P$  в покрытии по радиусу электрода  $R$  в зависимости от времени протекания сварочного тока**

При сварке без использования фольги давления величиной 98 МПа в начальный период сварки сконцентрированы на периферии пятна контакта и в дальнейшем перераспределяются на его центральную зону. Распределение контактных давлений при использовании медной фольги отличается наличием максимального значения 75 МПа на периферии пятна контакта в начале процесса сварки и увеличивается к концу процесса до 95 МПа. При сварке с использованием медной фольги наблюдается стабилизация значения фактической площади контакта и уменьшение на 30-40% значений контактных сопротивлений, что способствует сохранению цинкового покрытия. Падение напряжения в контакте фольга-деталь при протекании сварочного тока ниже  $U_p$  цинкосохраняющего покрытия ( $U_{fd} < U_p$ ).

Для выбора физико-механических параметров и толщины фольги нами использованы рекомендации Б.Д.Орлова по свариваемости разнородных материалов. Эти рекомендации были уточнены по результатам проведенных экспериментов для исключения разрушения цинкового покрытия и получены формулы для выбора толщины медной фольги в зависимости от толщины и теплофизических свойств материала покрытия свариваемых деталей.

Значительную роль в сохранении покрытия играет температура рабочей поверхности сварочного электрода. Проведенные нами исследования кинетики процесса нагрева контактной поверхности электродов в процессе сварки показали (рисунок 7), что при охлаждении электродов жидкостью с температурой 10 °С для увеличения стойкости сварочных электродов и уменьшения деформаций покрытия темп сварки не должен превышать 30 точек в минуту (кривая 2). В этом случае температура рабочей поверхности электрода не превышает температуры размягчения материалов электрода и покрытия. При темпе сварки 45 точек в минуту температура поверхности электрода поднималась до 320 - 350 °С (кривая 1),



- 1- сварка с темпом 45 точек в минуту; 2- сварка с темпом 30 точек в минуту (температура охлаждающей жидкости 10 °С);
- 3- сварка с темпом 45 точек в минуту с охлаждением электрода жидкостью с температурой -40 °С

**Рисунок 7 – Изменение температуры контактной поверхности сварочного электрода**

что значительно выше температуры размягчения материала электрода и близка к температуре плавления цинкового покрытия. При таком темпе сварки происходит вытеснение цинкового покрытия из зон контактов электродов и деталей. При охлаждении электродов жидкостью с температурой -40 °С темп сварки может быть увеличен до 45 точек в минуту (кривая 3). Низкие температуры охлаждающей

жидкости позволяют повысить производительность процесса сварки без снижения работоспособности сварочных электродов. На этапе проковки сварного соединения определяющую роль в процессах деформирования и разрушения покрытия контакта электрод-деталь играет характер распределение напряжений, зависящих от температуры и давлений. Распределение касательных напряжений  $\tau_{xy}$  в покрытии для электродов диаметром 6 мм с плоской формой поверхности характеризуется наличием максимального значения на периферии пятна контакта (рисунок 8).

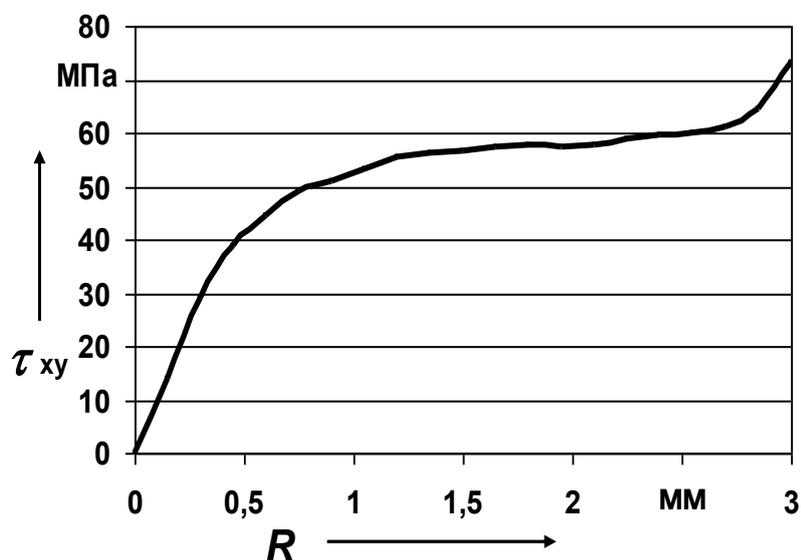
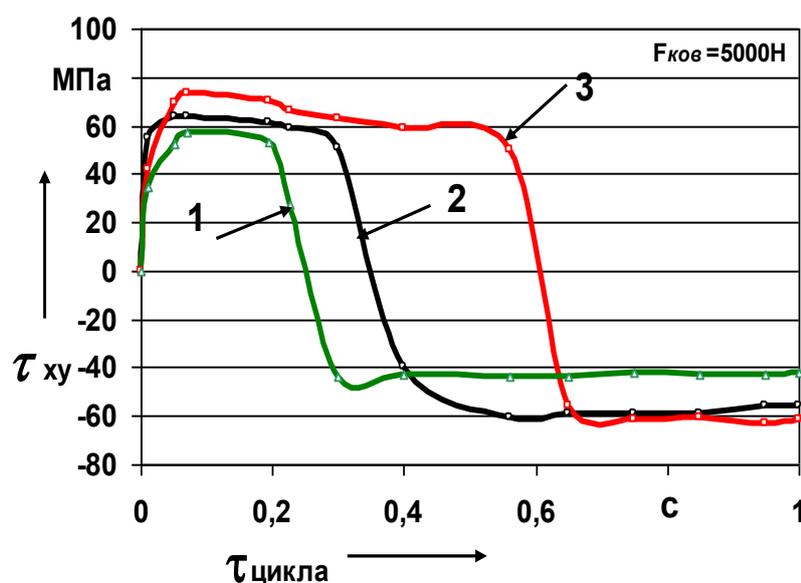


Рисунок 8 – Распределение касательных напряжений  $\tau_{xy}$  в покрытии по радиусу контактной поверхности электрода ( $R_{э}=3$ мм)



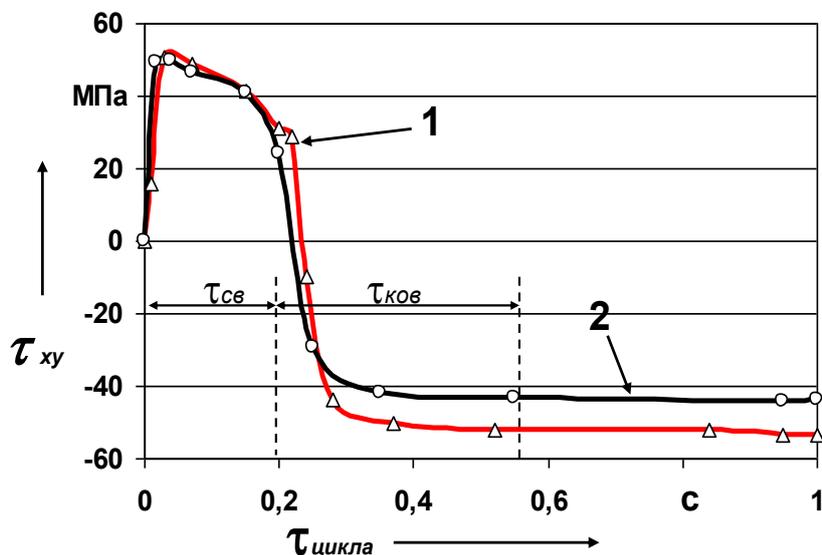
1 –  $\tau_{св} = 0,2$  с, 2 –  $\tau_{св} = 0,4$  с, 3 –  $\tau_{св} = 0,6$  с

Рисунок 9 – Изменение максимальных касательных напряжений в покрытии  $\tau_{xy}$  в зависимости от времени протекания сварочного тока  $\tau_{св}$

Расчеты показали, что уменьшение времени протекания сварочного тока (жесткий режим) приводит к уменьшению величины действующих касательных напряжений  $\tau_{xy}$  с 75 МПа до 57 МПа (на 25%) (рисунок 9). Анализ результатов металлографических исследований показал, что уменьшение времени протекания сварочного тока (жесткий режим) приводит к уменьшению вытеснения покрытия и тем самым способствует его сохранению. При точечной и рельефной сварке давление в контактной зоне в процессе сварки должно снижаться и не достигать величины предела текучести материала покрытия при температуре его размягчения. Ковочное усилие должно быть приложено до момента снижения температуры в зоне контактов электродов и изделия, равной 100-120 °С (рисунок 10), при этом касательные напряжения  $\tau_{xy} = 42$  МПа, а значение интенсивности напряжений ниже предела текучести материала покрытия.

Обработка расчетных и экспериментальных данных позволила получить эмпирическую зависимость для определения времени выдержки ковочного усилия ( $\tau_{ков}$ , с):  $\tau_{ков} \geq (a - \frac{0,05}{\delta})$  (6). Значения коэффициента  $a$  (с) определяются в зависимости от времени протекания сварочного тока:

$$a = 0,133 + 0,71\sqrt{\tau_{св}} \quad (7).$$

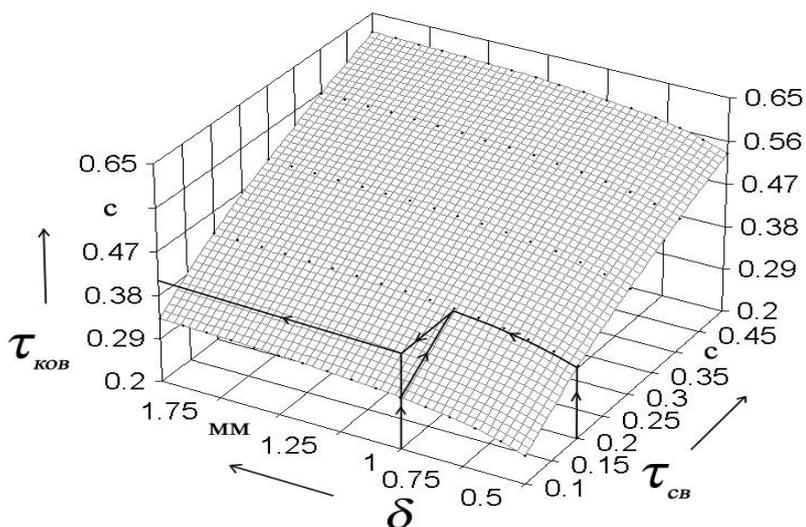


1 – ковочное усилие 5000 Н,  
2 – ковочное усилие 3000 Н

**Рисунок 10 – Изменение максимальных касательных напряжений  $\tau_{ху}$  в покрытии при регулировании ковочного усилия**

Если продолжительность проковки будет меньше, чем предлагается по формулам 6 и 7 цинковое покрытие, нагретое при сварке, не успеет охладиться и затвердеть, что приведет к налипанию его на контактную поверхность электрода. Уменьшение времени приложения ковочного усилия приводит к увеличению остаточных касательных напряжений и снижению предела выносливости сварного соединения.

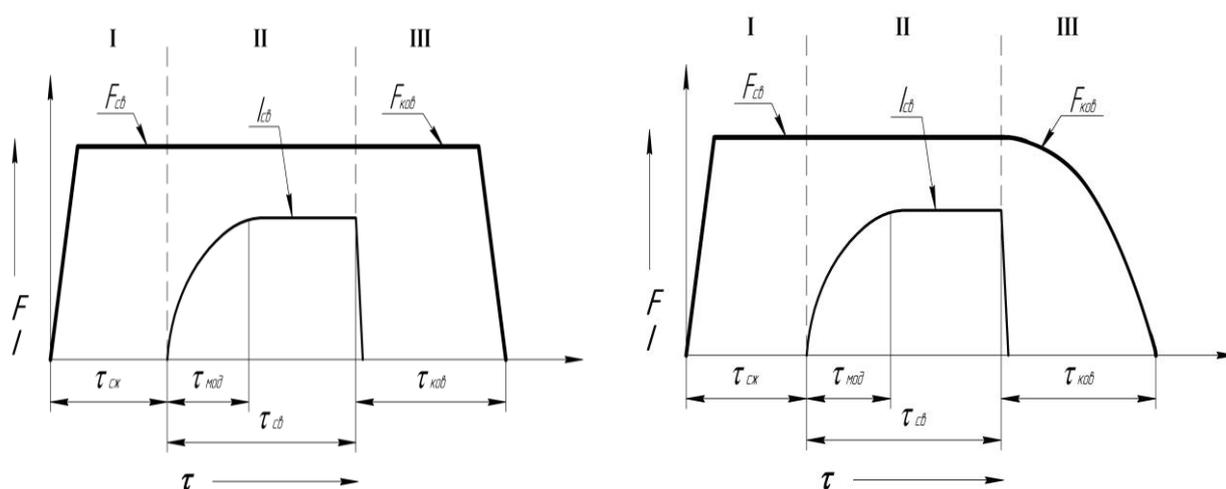
Определение времени приложения ковочного усилия в зависимости от времени протекания сварочного тока и толщины свариваемых деталей может быть проведено с помощью диаграммы 11.



В качестве примера показан вариант выбора  $\tau_{ков} = 0,41$  с при точечной сварке деталей толщиной  $\delta = 1$  мм с цинковым покрытием ( $\delta_{п} = 20-50$  мкм) при времени протекания сварочного тока  $\tau_{св} = 0,2$  с.

**Рисунок 11 – Диаграмма для определения времени приложения ковочного усилия  $\tau_{ков}$**

В пятой главе приведены результаты исследований по разработке технологического процесса, обеспечивающего сохранение цинкосодержащего покрытия на лицевых поверхностях изделий. Предложен способ сварки оцинкованных сталей, в основу которого положены циклограммы для контактной сварки (рисунок 12).



*а* – с модулированным импульсом сварочного тока

*б* – с модулированным импульсом сварочного тока и изменяемым усилием проковки

**Рисунок 12 – Циклограммы процесса контактной сварки**

Выбор типа циклограммы (*а* или *б*) зависит от возможностей используемого сварочного оборудования. Предпочтение следует отдавать циклограмме типа *б*. Неизменное сварочное усилие в течении стадий I и II формирования соединения и плавное снижение усилия проковки позволяет уменьшить контактные давления и касательные (сдвиговые) напряжения в зоне электрод-деталь на завершающей стадии процесса III, снизить деформацию и, как следствие, предотвратить разрушение цинкового покрытия.

Разработаны технологические рекомендации по контактной сварке цинкометалла, позволяющие повысить работоспособность сварных соединений и сварочных электродов. Достигается это использованием дополнительного импульса тока, обеспечивающего нагрев покрытия до температуры выше температуры плавления покрытия и удаление его из зоны сварки, в отличие от предлагаемых нами циклов сварки для традиционно используемых цинкосодержащих покрытий.

Разработаны конструкции электродных устройств для контактной точечной и рельефно-точечной сварки, позволяющие улучшить условия охлаждения и повысить коррозионную стойкость соединений и срок службы электродов.

Испытания соединений на статическую и циклическую прочность, а также ударные испытания, проведенные по известным и разработанным нами методикам, показали, что статическая прочность соединений, выполненных с со-

блюдением разработанной технологии, соответствует требованиям СТБ 1016-96, циклическая и ударная прочность не снижается по сравнению с прочностью соединений, полученных при сварке аналогичных сталей без покрытия. Металлографические исследования показали, что при сварке толщина покрытия под электродами уменьшается не более чем на 20 % от начальной толщины покрытия. Коррозионные испытания сварных соединений подтверждают достаточную стойкость покрытия на лицевых поверхностях в условиях действия агрессивной среды. Проведенные испытания показали, что для точечных сварных соединений сталей с цинкосодержащими покрытиями и цинкрометалла коррозия в контакте деталь-деталь также не наблюдается, так как покрытие в процессе сварки вытесняется из зоны контактирования деталей и плотным кольцом окружает сварную точку.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Научная новизна и значимость полученных результатов

1. Впервые определены научно-обоснованные условия сохранения защитного покрытия при контактной сварке и пути их реализации в конкретном технологическом процессе. Установлено теоретически и подтверждено экспериментально, что сохранение покрытия обеспечивается созданием в зоне контакта сварочных электродов с покрытием напряженно-деформированного состояния металла, которое характеризуется минимальными касательными (сдвиговыми) напряжениями и максимальным сопротивлением пластическому течению металла покрытия от центра к периферии сварного соединения [2].

2. Разработана математическая модель процесса контактной точечной сварки сталей с цинкосодержащими покрытиями, отличающаяся учетом свойств и толщины покрытия, динамического изменения сопротивления и давления в зоне контакта электродов и изделий в процессе сварки и позволившая объяснить механизм деформирования покрытия в зависимости от термомеханических условий сварки, форм и размеров электродов [2, 8].

3. На основании математического моделирования и экспериментальных исследований впервые определены требования к параметрам технологического процесса, обеспечивающим сохранение цинкового покрытия [2, 6, 7]:

- поддержание падения напряжения  $u_{\text{эо}}$  на контактах электродов с изделием не выше  $0,9 U_p$  ( $U_p$  – напряжение размягчения, В) и давлений в зоне сварки, не превышающих предел текучести материала покрытия;

- максимальная величина сварочного тока ( $I_{\text{св}}$ , кА) должна выбираться по зависимости: 
$$I_{\text{св}} = \frac{0,9U_p}{r_{\text{эо}}}$$

С целью уменьшения тепловыделения в контактах электродов с деталями сопротивление контактов электродов и деталей ( $r_{\text{эо}}$ , мОм) не должно превышать величины, определяемой по формуле:  $r_{\text{эо}} = \frac{0,082U_p}{\sqrt{\delta}}$ . Для снижения сопротивления на начальном этапе сварки

необходимо применять модулированную форму импульса тока. Длительность модуляции ( $\tau_{mod}$ , с) с учетом зависимости  $r_{э\delta}$  от толщины свариваемых деталей  $\delta$  определяется по формуле:  $\tau_{mod} = \exp\left(\frac{0,59}{\sqrt{\delta}} - 2,89\right)$ ;

– применение жестких режимов сварки, обеспечивающих температуру в зоне контактов электродов с деталями не выше температуры размягчения материала покрытия и требуемые прочностные свойства сварного соединения;

– применение электродов с плоской формой рабочих поверхностей, с площадью рабочей поверхности электрода ( $S_э$ , мм<sup>2</sup>):  $S_э = \exp\sqrt{58,2 - \frac{285U_p - 56\delta}{\sqrt{\delta}}}$ ;

– при точечной и рельефной сварке давление в зоне контакта деталей с электродами в процессе сварки должно снижаться и не достигать величины предела текучести материала покрытия при температуре нагрева. Ковочное усилие должно быть приложено до момента снижения температуры в зоне контактов электродов и покрытия равной 100-120 °С. На основании установленной зависимости времени приложения ковочного усилия ( $\tau_{ков}$ , с) от толщины изделия и времени протекания сварочного тока, продолжительность приложения

ковочного усилия определяется зависимостью:  $\tau_{ков} \geq \left(0,133 + 0,71\sqrt{\tau_{св}} - \frac{0,05}{\delta}\right)$ ;

– при контактной точечной сварке темп сварки не должен превышать 30 точек в минуту при охлаждении электродов жидкостью с температурой 10 °С. При охлаждении сварочных электродов жидкостью с температурой минус 40 °С темп сварки может быть увеличен в 1,5 раза. Использование электродов с улучшенным охлаждением рабочей поверхности и жидкости с температурой не выше минус 40 °С позволяет в 3-5 раз повысить стойкость сварочных электродов.

4. Сохранение защитного покрытия на уровне не менее 90% от его первоначального значения обеспечивается использованием промежуточных электродов в виде медной фольги, при выборе ее толщины и материала в зависимости от теплофизических свойств и толщин основного металла и покрытия по разработанным рекомендациям. Это позволяет снизить контактные сопротивления на 30-40%, увеличить сопротивление пластическому течению металла покрытия и полностью предотвратить налипание материала покрытия на электроды [3].

5. Предложен способ сварки оцинкованных сталей, в основу которого положены разработанные циклограммы процесса сварки оцинкованной стали и математические зависимости по выбору основных параметров режима сварки. Использование его позволяет достичь снижения толщины покрытия в местах контактов электродов с изделием не более чем на 20% [23].

6. Установлено, что при контактной сварке сталей с легкоплавкими цинкосодержащими покрытиями с использованием эпоксидной смолы невозможно сохранение покрытия на лицевых поверхностях, а для обеспечения получения качественных сварных соединений необходимо применять двухимпульсный

режим сварки с использованием разработанных рекомендаций. При этом режиме антикоррозионные свойства соединения нарушаются только на лицевых поверхностях [1].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. На базе предложенных нового способа сварки и конструкций электродных устройств разработаны технологические рекомендации по осуществлению процесса контактной сварки сталей с цинкосодержащими покрытиями, позволяющие сохранить покрытие, увеличить срок службы сварочных электродов и улучшить экологические условия работы сварщиков [2, 3, 6, 7].

2. Внедрение предложенной технологии контактной сварки осуществлено на Могилевском заводе вентиляционных заготовок при сварке узлов воздухопроводов, отводов и других изделий. При этом достигнуто повышение производительности процесса изготовления и обеспечена стабильность прочностных и антикоррозионных показателей сварных соединений, улучшен товарный вид изделий. Экономический эффект от внедрения научных разработок составил 6582365 руб. в ценах 2009 г. Результаты работы могут быть использованы на предприятиях, выпускающих сварные конструкции из сталей с цинкосодержащими покрытиями.

3. Конструкции рельефов и экспериментальная установка для регистрации параметров режима контактной сварки, методики проведения циклических и ударных испытаний точечных соединений используются в учебном процессе ГУВПО «Белорусско-Российский университет» при проведении лабораторных работ по дисциплине «Технология и оборудование сварки давлением», а также при выполнении студенческих НИР, курсовых и дипломных проектов.

### **Список публикаций по теме диссертации**

#### ***Статьи в научных журналах***

1. Емельянов, С.Н. Особенности технологии контактной точечной сварки цинкрометалла / С.Н. Емельянов // Вестник Могилевского государственного технического университета, Могилев, 2006.– №1(10). – С.59-63.

2. Емельянов, С.Н. О факторах, влияющих на износ рабочей поверхности электродов при контактной точечной сварке / С.Н. Емельянов // Сварка и родственные технологии, Минск, 2006.– №8. – С.23-26.

3. Емельянов, С.Н. Точечная сварка с использованием медной фольги для сохранения цинкового покрытия / С.Н. Емельянов, В.П. Березиенко, А.О. Коротеев // Вестник Белорусско-Российского университета, Могилев, 2009.– №4(25). – С.76-79.

#### ***Статьи в зарубежных изданиях***

4. Березиенко, В.П. Методика испытаний при ударном нагружении соединений, выполненных контактной точечной сваркой / В.П. Березиенко, С.Н.

Емельянов, В.А. Попковский // Заводская лаборатория. –1988. – № 2. – С.69-70.

5. Березиенко, В.П. Сопротивление усталости точечных сварных соединений из низкоуглеродистой стали / В.П. Березиенко, В.А. Попковский, С.Н. Емельянов, В.И. Дьяченко // Автоматическая сварка. – 1991.– №8. – С.13-14,18.

6. Латыпова, Е.Ю. Модернизация системы охлаждения электродов для контактной точечной сварки / Е.Ю. Латыпова, С.М. Фурманов, Ю.А. Цумарев, С.Н. Емельянов // Сварочное производство.– 2007.– №8. – С.22-24.

7. Latypova, E. Yu. Modernization of the cooling system of resistance spot welding electrodes / Yu. Latypova, S.M. Furmanov, Yu.A. Tsumarev, S.N. Emel'yanov // Welding International, Taylor & Fransis, v.22 n.7, July 2008. – p.472-474.

### *Статьи в сборниках научных трудов*

8. Емельянов, С.Н. Совершенствование математической модели, описывающей термодиформационный цикл контактной точечной сварки / С.Н. Емельянов, В.П. Березиенко, В.А. Попковский // Ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроении, сварочном производстве и строительстве: сборник научных трудов: в 2 частях / ММИ, – Минск, 1991. – ч II. – С.286-295.

### *Материалы и тезисы конференций*

9. Попковский, В.А. Анализ работоспособности точечных соединений при ударном нагружении / В.А. Попковский, С.Н. Емельянов, В.П. Александров // Проблемы совершенствования контактной точечной сварки: материалы Всесоюзной научно-технической конференции, Псков, Псковский 3-д тяж. эл.-свар. обор.-ния, 22-24 сентября 1987. – С.88-89.

10. Березиенко, В.П. Ресурсосберегающая технология изготовления и неразрушающего контроля изделий, выполняемых контактной точечной сваркой/ В.П. Березиенко, В.М. Лаврентьева, С.Ф. Мельников, С.Н. Емельянов // Ученые и специалисты – народному хозяйству области: материалы научно-технической конференции, Могилев, ММИ, 27-29 ноября 1989. – С.38.

11. Березиенко, В.П. О факторах, влияющих на термодиформационные процессы формирования соединений при контактной точечной сварке стали с цинковым покрытием / В.П. Березиенко, С.Н. Емельянов, Т.И. Бендик // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы научно-технической конференции, Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 27-29 апреля 2007. – С.233-234.

12. Емельянов, С.Н. О характере изменения контактных сопротивлений при точечной сварке сталей с цинковыми покрытиями / С.Н. Емельянов, В.П. Березиенко // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной научно-технической конференции - Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 17-18 апреля 2008. – ч.2. – С. 127.

13. Емельянов, С.Н. О влиянии параметров режима точечной сварки на величину контактных сопротивлений / С.Н. Емельянов // Материалы оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной научно-

технической конференции, Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 16-17апреля 2009.– ч.2. – С. 97-98.

### *Авторские свидетельства и патенты*

14. А.С. №1275267 СССР, МКИ<sup>4</sup> G 01 N 3/30. Образец для испытаний на ударное скручивание / В.А. Попковский, В.П. Березиенко, С.Н. Емельянов, О.В. Иванина, В.И. Майбуров. – № 3828744; заявл. 05.11.1984 ; опубл. 07.12.1986, Бюл. № 45. – 5 с.: ил.

15. А.С. №1291843 СССР, МКИ<sup>4</sup> G 01 N 3/30. Способ испытаний сварных соединений на отрыв ударом / В.П. Березиенко, В.А. Попковский, С.Н. Емельянов, А.Д. Ковтун, В.М. Порукевич. – № 3766085; завл. 29.06.1984; опубл. 23.02.1987, Бюл. № 7. – 3 с. : ил.

16. А.С. №1574403 СССР, МКИ<sup>5</sup> В23К11/30. Машина для контактной точечной сварки / В.П. Березиенко, В.А. Попковский, С.Н. Емельянов, В.П. Александров. – №4359458; завл. 27.11.1987; опубл. 30.06.1990, Бюл. №24. – 3 с.: ил.

17. Патент 2000906 РФ, МКИ<sup>5</sup> В23К11/10, В23К11/30. Электродное устройство для контактной точечной сварки / В.В. Десятник, В.П. Березиенко, С.Н. Емельянов; заявитель и патентообладатель Могилевский машиностроительный институт. – № 4908038/08; завл. 10.12.1990; опубл. 15.10.1993, Бюл. № 37-38. – 3 с.: ил.

18. Патент на полезную модель ВУ 3803, МПК (2006) В23К11/30. Электродный узел для контактной точечной и рельефной сварки / Е.Ю. Латыпова, С.Н. Емельянов, С.М. Фурманов, Ю.А. Цумарев, Т.И. Бендик; заявитель ГУВПО “Белорусско – Российский университет”– № 20060890; заявл. 27.12.2007; опубл. 30.08.2007. // Афіцыйны бюл. / Нац. центр интел. собственности – 2007.– №4. – 3 с.: ил.

19. Патент на полезную модель ВУ 5236, МПК (2006) В23К 11/14. Рельеф для контактной рельефной сварки / А.А. Радченко, С.Н. Емельянов, В. П. Березиенко, Ю.А. Цумарев, Е.Н. Цумарев; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение "Институт порошковой металлургии", Государственное учреждение высшего профессионального образования "Белорусско-Российский университет" – № 20080721; заявл. 22.09.2008; опубл. 30.04.2009. // Афіцыйны бюл. / Нац. центр интел. собственности – 2009. – №2. – 3 с.: ил.

20. Патент на полезную модель ВУ 5238, МПК (2006) В23К 11/14. Устройство для контактной точечной сварки / С.Н. Емельянов, Ю.А. Цумарев, Е.Н. Цумарев; заявитель и патентообладатель ГУВПО “Белорусско – Российский университет”. – № 20080536; заявл. 28.06.2008; опубл. 30.04.2009. // Афіцыйны бюл. / Нац. центр интел. собственности – 2009. – №2. – 3 с.: ил.

21. Патент на полезную модель ВУ 5280, МПК (2006) В 23К 11/14. Рельеф для рельефной контактной сварки / А.А. Радченко, С.Н. Емельянов, В.П. Березиенко, Ю.А. Цумарев, Е.Н. Цумарев; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение "Институт порошковой металлургии", Государственное учреждение высшего профессионального образования "Бело-

русско-Российский университет". – № 20080720; заявл. 22.09.2008; опубл. 30.06.2009. // Афіцыйны бюл. / Нац. центр интел. собственности – 2009. – №3. – 3 с.: ил.

22. Патент на полезную модель ВУ 4999, МПК (2006) В 23К 11/14. Рельеф для рельефной контактной сварки / В.К. Шелег, В.А. Писарев, Ю.А. Цумарев, С.Н. Емельянов, Е.Н. Цумарев; заявитель и патентообладатель Белорусский национальный технический университет. – № 20080528; заявл. 27.06.2008; опубл. 28.02.2009. // Афіцыйны бюл. / Нац. центр интел. собственности – 2009. – №1. – 4 с.: ил.

23. Заявка на получение патента на изобретение. Способ контактной точечной сварки оцинкованных сталей / С.Н. Емельянов, В.М. Александров, Ю.А. Цумарев, В.П. Березиенко, А.О. Коротеев; заявитель Государственное научное учреждение "Институт порошковой металлургии". – № а 20091717; заявлено 04.12.2009.

## РЭЗІЮМЕ

Емяльянаў Святазар Мікалаевіч

### **Кантактная зварка ацынкаваных сталяў з захаваннем ахоўнага пакрыцця пасродкам рэгулявання тэрмадэфармацыйных параметраў працэсу**

**Ключавыя словы:** кантактная зварка, сталі з цынкаутрымоўванымі пакрыццямі, напружана-дэфармаваны стан, тэрмадэфармаваны цыкл, метады канчатковых элементаў, электродныя прылады, каразійная устойлівасць, механічныя выпрабаванні, трывальныя ўласцівасці, кантактны ціск, сістэма аўтаматычнага кіравання.

#### **Аб'ект і прадмет даследаванняў:**

*Аб'ектам даследаванняў з'яўляюцца зварныя злучэнні, выкананыя кантактнай зваркай на сталях з ахоўнымі цынкаутрымоўванымі пакрыццямі. Прадметам даследаванняў з'яўляюцца асноўныя фактары, якія ўплываюць на працэс дэфармавання пакрыцця, і спосабы рэгулявання тэрмадэфармаванага стану металу зоны злучэння і матэрыялу зварачных электродаў, якія забяспечваюць высокія каразійныя і трывальныя ўласцівасці зварных злучэнняў, падвышаную ўстойлівасць зварачных электродаў.*

#### **Мэта працы:**

Распрацоўка параметраў тэхналагічнага працэсу кантактнай зваркі ацынкаваных сталяў, якія забяспечваюць захаванне ахоўнага пакрыцця, яго антыкаразійных уласцівасцяў і патрабаваныя трывальныя паказчыкі зварных злучэнняў.

На падставе даследавання тэрмадэфармацыйных працэсаў, якія адбываюцца у пакрыцці пры змене асноўных тэхналагічных параметраў зваркі, такіх як супрацівы кантактаў электродаў і дэталей, час нарастання зварачнага току, велічыня і час прыкладання высілка сціску на завяршальным этапе зваркі, усталяваныя навукова-абгрунтаваныя ўмовы захавання цынкаутрымоўванага пакрыцця.

На базе тэарэтычна і эксперыментальна ўсталяваных умоў фармавання зварных злучэнняў прапанаваны практычныя рэкамендацыі па выбары параметраў рэжыму зваркі, якія дазваляюць рэалізаваць тэрмадэфармацыйныя цыклы, што забяспечвае захаванне цынкавага пакрыцця.

Распрацаваны і ўкаранёны ў вытворчасць новыя спосабы і электродныя прылады для кантактнай кропкавай і рэльефнай зваркі сталяў з пакрыццямі, а таксама рэкамендацыі па выбары тэхналагічных параметраў рэжыму зваркі, якія забяспечваюць захаванне ахоўнага пакрыцця і адначасова патрабаваныя трывальныя ўласцівасці вырабаў, падвышаную ўстойлівасць зварачных электродаў.

## РЕЗУМЕ

Емельянов Светозар Николаевич

### **Контактная сварка оцинкованных сталей с сохранением защитного покрытия посредством регулирования термодформационных параметров процесса**

**Ключевые слова:** контактная сварка, стали с цинкосодержащими покрытиями, напряженно-деформированное состояние, термодформационный цикл, метод конечных элементов, электродные устройства, коррозионная стойкость, механические испытания, прочностные свойства, контактное давление, система автоматического управления.

#### **Объект и предмет исследований:**

*Объектом исследований* являются сварные соединения, выполненные контактной сваркой на сталях с защитными цинкосодержащими покрытиями. *Предметом исследований* являются основные факторы, влияющие на процесс деформирования покрытия, и способы регулирования термодформированного состояния металла зоны соединения и материала сварочных электродов, обеспечивающие высокие коррозионные и прочностные свойства сварных соединений, повышенную стойкость сварочных электродов.

#### **Цель работы:**

Разработка параметров технологического процесса контактной сварки оцинкованных сталей, обеспечивающих сохранение защитного покрытия, его антикоррозионных свойств и требуемые прочностные показатели сварных соединений.

На основании исследования термодформационных процессов, происходящих в покрытии при изменении основных технологических параметров сварки, таких как сопротивления контактов электродов и деталей, время нарастания сварочного тока, величина и время приложения усилия сжатия на завершающем этапе сварки, установлены научно-обоснованные условия сохранения цинкосодержащего покрытия.

На базе теоретически и экспериментально установленных условий формирования сварных соединений предложены практические рекомендации по выбору параметров режима сварки, позволяющие реализовать термодформационные циклы, обеспечивающие сохранение цинкового покрытия.

Разработаны и внедрены в производство новые способы и электродные устройства для контактной точечной и рельефной сварки сталей с покрытиями, а также рекомендации по выбору технологических параметров режима сварки, обеспечивающие сохранение защитного покрытия и одновременно требуемые прочностные свойства изделий, повышенную стойкость сварочных электродов.

## SUMMARY

Yemelyanov Svetozar Nikolaevich

### **Resistance welding of the zinc coated steels with preservation of the protective coverings by means of regulation of the thermo deformation process parameters**

**Keywords:** resistance welding, steels with zinc coated coverings, intense-deformed condition, a thermo deformation cycle, a method of final elements, electrode devices, corrosion firmness, mechanical tests, strengthen properties, contact pressure, automatic control system.

#### **Object and subject of research:**

*Object of research* are the welded connections executed by resistance welding on steels with protective zinc coated coverings. *A subject of research* are the major factors influencing process of deformation of a covering, and ways of regulation of the thermo deformed condition of metal of a zone of connection and a material of welding electrodes, providing high corrosion and strengthen properties of welded connections, improved electrode tip life.

#### **The work purpose:**

Working out of parameters of technological process of resistance welding of the zinc coated steels providing preservation of sheeting, its anticorrosive properties and demanded strengthen indicators of welded connections.

On the basis of research of the thermo deformation processes occurring in a covering at change of the basic technological parameters of welding, such as resistance of contacts of electrodes and details, increase time welding current, the size and time of the appendix of effort of compression at the welding closing stage, are established the scientifically-proved conditions of preservation zinc coated coverings.

On base theoretically and experimentally established conditions of formation of welded connections practical recommendations for choice parameters of a mode of the welding are offered, allowing realizing the thermo deformation cycles, providing preservation of a zinc covering.

New ways and electrode devices for resistance spot and relief welding of steels with coverings, and also recommendations for choice the mode of welding technological parameters providing preservation of sheeting and simultaneously demanded strengthen property of products, the raised firmness welding electrodes are developed and introduced in manufacture.

ЕМЕЛЬЯНОВ СВЕТОЗАР НИКОЛАЕВИЧ

**КОНТАКТНАЯ СВАРКА ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ С СОХРАНЕНИЕМ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ПОСРЕДСТВОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.03.06

«Технологии и машины сварочного производства»

Подписано в печать 30.04.2010. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л.1.63. Уч. –изд.л.1.6. Тираж 60 экз. Заказ № 367

Издатель и полиграфическое исполнение  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет»  
ЛИ № 02330/375 от 29.06.2004 г.  
212000, г.Могилев, пр.Мира, 43

© ГУВПО «Белорусско-Российский университет», 2010