

Отзыв

официального оппонента Гельчинского Бориса Рафаиловича
о диссертации Невежина Станислава Владимировича «Совершенствование
состава проволок для дуговой металлизации жаростойких покрытий на
основе нейросетевого моделирования», представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности
05.02.10 - «Сварка, родственные процессы и технологии»

Актуальность темы

В современной промышленности для защиты от высокотемпературной коррозии широко применяются газотермические покрытия, причем по относительной стоимости покрытия, наносимые дуговой металлизацией (ДМ) дешевле получаемых другими способами, что обусловлено высокой производительностью, простотой обслуживания и низкой стоимостью напыляемых материалов в случае использования экономнолегированных порошковых проволок (ПП). В настоящее время отсутствуют отечественные разработки по порошковым проволокам для этой цели, а имеющиеся зарубежные аналоги отличаются высокой стоимостью за счет наличия в их системе легирования дорогостоящих элементов, такие как никель, молибден, вольфрам, ниобий. Использование гибких инструментов типа нейронных сетей позволяет решать неформализованные задачи, такие как согласование и оптимизация технологических параметров процесса дуговой металлизации и состава порошковых проволок для нанесения жаростойких покрытий. В связи с этим диссертационная работа Невежина С.В. целью, которой являлась разработка порошковых проволок оптимального состава на основе данных нейросетевого моделирования (НСМ), по критерию, отражающему максимальную жаростойкость наносимых покрытий при дуговой металлизации, создание технологии их изготовления и применения при нанесении жаростойких покрытий, является актуальной.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, из них 6 статей в журналах из перечня ВАК, 3 тезиса докладов, сделанных на международных и российских конференциях.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 86 наименований. Она изложена на 127 страницах, содержит 27 таблиц, 23 рисунка и приложения, содержащих таблицы с результатами отчетов, акт о внедрении и отзыв о результатах внедрения.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы ее цель и основные задачи, приведены научная новизна, практическая значимость работы и вопросы, выносимые на защиту.

В первой главе обсуждены вопросы высокотемпературной коррозии, рассмотрены существующие материалы и методы защиты от неё, выявлено, что по критерию «цена-качество» предпочтительным для этой цели является использование композиционных материалов «жаропрочная

Вх. №05-19/1-307
от 25.11.14 г.

основа-жаростойкое покрытие». Отмечается, что в качестве жаростойких, эффективны материалы экономной системы легирования Fe-Cr-Al-Ti-Si-Y. Наиболее дешевым и производительным способом получения покрытия является дуговая металлизация. Показано, что при разработке экономнолегированных материалов для нанесения жаростойких покрытий целесообразно применение НСМ с последующей оптимизацией результатов расчетов по критерию, отражающему максимальную жаростойкость. Для реализации указанных экономнолегированных материалов в виде ПП, отличающихся высоким коэффициентом заполнения и варьируемым составом доступных шихтовых материалов, обоснована необходимость разработки технологических основ производства и применения при нанесении жаростойких покрытий.

Во второй главе рассмотрена методика НСМ, решалась задача развития метода НСМ для описания процесса окисления ПП при их распылении ДМ для оптимизации состава проволок и режимов металлизации с целью получения качественных жаростойких покрытий. Объектами моделирования выбирали сплошные проволоки марки X15Ю5 по ГОСТ 10994 базовой системы легирования Fe-Cr-Al и ПП, с различным содержанием кремния, титана и иттрия. В качестве способа нанесения покрытий рассматривали процессы ДМ и активированной дуговой металлизации (АДМ). В качестве метода исследования использовали моделирование на основе нейронных сетей. Оценка достоверности результатов расчетов для дополненной базовой модели производилась путем измерения содержания кислорода в ДМ-покрытиях из ПП методом восстановительного плавления в токе инертного газа с помощью анализатора ON-900. Проведенные измерения показали, что погрешность расчета по модели составляет не более 16%. Нейросетевая модель использовалась для оптимизации режимов АДМ и системы легирования ПП методом симплекс поиска (Недлера-Мида) по критерию минимального окисления покрытия в процессе его напыления. Указанный критерий оптимизации характеризует запас неокисленных легирующих элементов жаростойкого покрытия, способных к формированию защитных оксидных пленок. Адекватность применения разработанной НСМ для области прогнозирования степени окисления и содержания легирующих элементов в АДМ-покрытиях из ПП оценивали с помощью элементного анализа покрытий, отделенных после металлизации на графитовые пластины 55x27x3 мм. Анализ выполнялся с использованием фотоколориметра КФК-2, анализатора углерода АН-7529, атомно-адсорбционного спектрофотометра Квант-2А, анализатора кислорода ON-900.

В третьей главе исследовали зависимость структуры, физико-механических и служебных свойств покрытий из усовершенствованных на основе НСМ ПП от степени их окисления. Для исследования этой зависимости были изготовлены ПП, химический состав которых соответствует оптимальному, полученному по расчетам согласно разработанной НСМ. Покрытия толщиной 0,4 мм наносили после

струйно-абразивной обработки (САО) с помощью аппарата активированной дуговой металлизации АДМ-10 на оптимизированных по НСМ режимах. Для исследования структуры, фазового состава и выполнения микрохимического анализа использовали образцы покрытий, напыленные на пластины 20x20x1,5мм из стали 20. Из указанных образцов готовили поперечные металлографические шлифы с использованием пасты ГОИ № 2 и алмазной пасты НОМ 60/40 на полировальном станке Laborol. Для травления шлифов использовали трехпроцентный раствор азотной кислоты в спирте.

В четвертой главе разрабатывали технологические основы производства и применения при нанесении жаростойких покрытий ПП системы легирования Fe-Cr-Al-Ti-Si-Y с высоким коэффициентом заполнения и варьируемым составом доступных шихтовых материалов. При расчете маршрута волочения ПП сравнивали два варианта: стандартный, с постоянным единичным обжатием на переделе 10%, и специальный, с варьируемым единичным обжатием - на первых протяжках 25 и 15%, на последующих - 10%. Контроль качества ПП включал проверку качества поверхности, диаметра, коэффициента заполнения и однородности шихты проволоки, внутреннего и внешнего диаметра мотков. Сравнение фактического и расчетного коэффициента заполнения ПП, показало, что они отличаются не более чем на 5%, что показывает высокую стабильность состава шихты. Установлено, что шихты с грануляцией компонентов не более 200 мкм меньше угол естественного откоса и больше сыпучесть, что позволило обеспечить ее однородность по химическому и гранулометрическому составам и повысить качество покрытий. Контроль качества металлизационных покрытий из ПП включал в себя оценку их внешнего вида, определение толщины, прочности сцепления покрытия с основным металлом, пористости и жаростойкости. На основе указанных рекомендаций разработали технические условия на ПП для нанесения жаростойких покрытий. Разработанные ПП применяли при защите от коррозии труб змеевиков для экономайзеров котлов ТЭС. Для указанных узлов выполняли нанесение покрытий из разработанной ПП на оптимизированных по данным НСМ режимах.

Оценка новизны и достоверности

Научную новизну представляют следующие результаты диссертационной работы:

1. Разработана нейросетевая модель процесса окисления металла порошковых проволок при их распылении дуговой металлизацией, которая позволила обеспечить адекватность прогноза химического состава и степени окисления металлизационных покрытий в характерном диапазоне легирования проволок для нанесения жаростойких покрытий.
2. Разработана методика оптимизации системы легирования порошковых проволок типа Fe-Cr-Al-Si-Ti-Y и технологических параметров процесса дуговой металлизации по критерию минимального окисления покрытия при напылении.

3. Установлена зависимость физико-механических и служебных свойств металлизационных покрытий из усовершенствованных порошковых проволок, а именно, адгезионной прочности, пористости, жаростойкости, от их степени окисления.

Достоверность и обоснованность полученных результатов моделирования, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается обоснованностью допущений, а также согласованностью с экспериментальными результатами по изучению структуры и свойств покрытий, полученными с применением поверенных и калиброванных средств измерений, аттестованных методик измерений, применением современных и независимых методов обработки данных.

Практическая значимость диссертационной работы

1. Разработана система легирования порошковой проволоки, металлизационные покрытия из которой имеют жаростойкость одного уровня с аустенитными сталями, и на порядок выше в сравнении с феррито-перлитными и мартенситно-ферритными сталями, широко используемыми в котлостроении. Пористость покрытий из разработанной порошковой проволоки сопоставима, а адгезионная прочность покрытий выше, чем у покрытий из проволок аналогичного назначения.

2. На состав порошковой проволоки, разработанной на основе проведенных исследований, подана заявка на патент России от 19.01.2012 №2012101882, по которой получено положительное решение, разработана технология ее изготовления и технические условия, устанавливающие требования, которым должна удовлетворять порошковая проволока и наносимые из нее покрытия.

3. Применительно к узлам электроэнергетики, работающим в условиях высокотемпературной коррозии, разработана технология нанесения покрытий из указанной порошковой проволоки, по которой изготовлены опытные детали, проходящие в настоящее время испытания.

Замечания по работе

1. Следовало учесть влияние азота и серы на вязкость шлаков, образующихся при металлизации порошковых проволок, что может сказаться на величину доли поверхности, свободной от шлака.

2. Не произведено сравнение защитных свойств двойных оксидов типа шпинелей $FeAl_2O_4$, образующихся на поверхности металлизационных покрытий при нагреве, с защитными свойствами оксидов легирующих элементов, входящих в состав порошковых проволок.

Указанные замечания носят частный характер и не умаляют научную новизну, достоверность и практическую значимость полученных в диссертационной работе результатов.

Заключение

Диссертационная работа Невежина С.В. представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, выполненное на современном научном и методическом уровне. В ней изложены и проанализированы результаты, достоверность которых и их интерпретация на основе признанных представлений современного материаловедения и методов

компьютерного моделирования, не вызывают сомнения. В работе есть соответствие полученных результатов поставленным цели и задачам, содержание автореферата отвечает основным идеям и выводам диссертации, содержание диссертации отвечает содержанию и качеству опубликованных работ, тема диссертации соответствует заявленной научной специальности. Совокупность полученных в работе результатов исследования, позволяет полагать, что соискателем решена задача, имеющая существенное значение для создания оптимизированных порошковых проволок, технологии их изготовления и применения при нанесении жаростойких покрытий. По своему объему и значимости полученных результатов диссертационная работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор Невежин Станислав Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии.

21.11.2014

 **Гельчинский Борис Рафаилович**

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник,
Заведующий лабораторией порошковых, композиционных и наноматериалов,
Федеральное государственное учреждение науки Институт металлургии
Уральского отделения Российской академии наук.
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101.
Тел./факс: 343 267 8914.
e-mail: brg47@list.ru
<http://www.imet-uran.ru>

Подпись зав. лабораторией, д.ф.-м.н., Гельчинского Б.Р. заверяю.

Ученый секретарь ИМЕТ УрО РАН, к.х.н.

Пономарёв В.И.

