

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», доктор экономических наук, профессор



В.Е. Сактоев

2017 г.

### ОТЗЫВ

Ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» на диссертационную работу Ивановой Татьяны Геннадьевны на тему «Разработка и исследование процессов одновременного насыщения стальных изделий бором, хромом и титаном», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Ивановой Татьяны Геннадьевны посвящена разработке и исследованию процессов, протекающих при одновременном диффузионном насыщении углеродистых и легированных сталей бором, хромом и титаном. Вопросы создания функционально-градиентных поверхностных слоев, обладающих уникальными механическими, технологическими и специальными свойствами, привлекают особое внимание, что делает актуальными исследования, направленные на создание таких поверхностей, поэтому в последнее время все большее внимание уделяется методам поверхностной обработки сталей. Основные усилия исследователей, изучающих процессы ХТО, сосредоточены на установлении механизмов и закономерностей диффузионного проникновения различных элементов в металлическую основу или на изучении характера роста и свойств образующихся диффузионных зон. Изучение явлений и процессов диффузии бора в сталях при их химико-термической обработке открывает широкие перспективы для управления свойствами диффузионных боридных покрытий, повышения их эксплуатационных качеств и технологичности их получения. Подробное изучение состояния вопроса в области диффузии бора в железоуглеродистых сплавах определяется необходимостью развития методов поверхностного упрочнения деталей посредством химико-термической обработки, разработки ресурсо- и энергосберегающих технологий диффузионного насыщения поверхности.

В ведущей организации – Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Восточно-Сибирский

государственный университет технологий и управления» также проводятся исследования по разработке способов повышения эксплуатационных свойств металлов, в том числе при термической и химико-термической обработке.

Диссертационная работа Ивановой Татьяны Геннадьевны состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка из 116 наименований и списка публикаций по теме. Диссертация изложена на 142 машинописных страницах текста, включая 61 рисунок и 15 таблиц.

Научные результаты, полученные в рамках диссертации, соответствуют паспорту научной специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» п. 1 «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм), в том числе диаграммами состояния с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов», п. 4 «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм), в том числе диаграммами состояния с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов», п. 6 «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм), в том числе диаграммами состояния с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов».

Во **введении** обосновывается актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту, представлен краткий обзор структуры диссертации.

В **первой главе** представлен обзор известных результатов исследований технологий поверхностного легирования сталей, в том числе насыщения бором, хромом, титаном и совмещенных процессах. Обобщены литературные данные об известных особенностях процесса насыщения и диффузии. Приведены микроструктуры диффузионных боридных покрытий.

В заключительной части главы сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, что таким образом определяет общую концепцию диссертационного исследования и используемый исследовательский инструментарий.

**Вторая глава** посвящена определению основных материалов для исследований и обоснованию их выбора, определению методик исследований и их специфике, характерной для данного исследования. В качестве исследуемых сталей выбраны углеродистая сталь СтЗсп и легированные стали 5ХНВМФ, Х12М, в результате чего работой охвачен широкий спектр используемых в промышленности типов сталей за исключением коррозионно-стойких сталей.

Описана методика химико-термической обработки вышеуказанных сталей и методика анализа получившихся в результате покрытий.

В **третьей главе** приведено обоснование выбора компонентов составов диффузионно-активных сред для одновременного насыщения сталей бором, хромом и титаном.

В разделе «Термодинамические основы химических реакций» приведены

результаты термодинамических расчетов энергетического потенциала и констант равновесия некоторых наиболее вероятных реакций в насыщающей среде с образованием диффузионно-активных атомов бора и последующие реакции между бором и железом, как основным элементом стали, с образованием диффузионного покрытия. Расчеты проводились для интервала температур – от 25°C до 1100°C. Выбор температур продиктован тем, чтобы получить максимально развернутую картину взаимодействия компонентов насыщающей смеси и насыщаемого материала от нормальных условий до максимальной температуры, при которой производится борирование.

Раздел «Диффузия бора в условиях одновременного насыщения сталей бором, хромом и титаном» посвящен исследованию толщины боридного слоя от температурно-временных параметров. В результате проведенных исследований были получены экспериментальные зависимости толщины боридного слоя на Ст3, сталях 5ХНВМФ и Х12МФ от температурно-временных параметров процесса. В ходе исследований выявлено, что скорость формирования диффузионного слоя боридов на сталях различных марок зависит от температуры и эта зависимость носит одинаковый характер. Максимальная возможная толщина слоя боридов зависит от температуры процесса насыщения и марки стали (т.е. ее элементного состава) – чем больше легирующих элементов содержит сталь, тем меньшей максимальной толщины диффузионный слой может на ней сформироваться.

В четвертой главе «Оптимизация состава насыщающей среды и температурно-временных параметров процесса насыщения» представлены математические модели, описывающие характер влияния оптимизируемых параметров (температура и время процесса насыщения, содержание бора, углерода, хрома, титана, хлора и фтора, а также время механоактивации). Для оценки влияния и оптимизации элементного состава насыщающей среды было построено уравнение регрессии для девяти факторного эксперимента. В качестве факторов были выбраны температура и время процесса насыщения, а также факторы, относящиеся к составу насыщающей смеси и технологическим параметрам ее приготовления: содержание бора, углерода, хрома, титана, а также активаторов – хлора и фтора. В качестве фактора, характеризующего технологический параметр приготовления насыщающей смеси было взято время перемешивания компонентов насыщающей смеси в планетарной мельнице в режиме самоизмельчения – механоактивация.

По результатам анализа установлено, что в значительной степени толщину и микротвердость диффузионного многокомпонентного покрытия на основе бора определяют содержание хрома, титана, углерода так как данные элементы при участии в окислительно-восстановительных реакциях в насыщающей среде, а в дальнейшем в процессе диффузии и при взаимодействии с компонентами стали способны значительно сдвигать термодинамические потенциалы формирования диффузионного боридного покрытия на сталях.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по работе.

**Научная новизна** диссертации заключается в том, что получены новые



количественные данные о коэффициентах диффузии бора в процессах одновременного насыщения сталей Ст3, 5ХНВМФ и Х12М бором, хромом и титаном; определена температурная зависимость энергии активации и коэффициентов диффузии бора в процессе одновременной диффузии бора, хрома и титана в поверхность сталей различных классов. Установлены новые закономерности кинетики образования комплексного многокомпонентного слоя, содержащего бор, хром и титан в качестве легирующих элементов и выявлены механизмы и условия формирования комплексных боридных покрытий, которые позволяют управлять процессом насыщения и получать покрытия с заданными составом, структурой и свойствами. Установлен оптимальный состав насыщающей среды и технологические параметры процесса одновременного диффузионного насыщения бором, хромом и титаном углеродистых сталей.

**Практическая значимость** сводится к разработке способа одновременного многокомпонентного насыщения бором, хромом и титаном, позволяющего значительно (в 1,5 – 7 раз) сократить время процесса насыщения, прогнозировать и управлять физико-механическими свойствами комплексных покрытий, обеспечивая заданные эксплуатационные свойства, что подтверждается актами производственных испытаний деталей машин, упрочненных по разработанным технологиям и полученным патентом на изобретение РФ.

Результаты и выводы соискателя по диссертационной работе достоверны и имеют научную и практическую ценность. Результаты исследований апробированы в достаточной мере: докладывались на региональных, российских и международных конференциях. По результатам работы опубликовано 26 статей (в том числе 10 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 2 из которых цитируется международными базами Scopus и Web of Science). Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

По диссертации имеются следующие **замечания**:

1. В диссертации и автореферате обоснование выбора марок стали представлено достаточно расплывчато. Чем обоснован выбор именно таких марок сталей.

2. При расчете энергии активации  $Q$  на стр.60 утверждается, что коэффициент корреляции имеет величину 0,99, однако из данных приведенных на рисунке 3.8, эта величина корреляции относится только к образцам материалов Ст3 и Ст45. Для остальных образцов корреляция менее выражена.

3. Глава 4. Уравнения регрессии названы математическими моделями, что не совсем корректно.

4. Глава 4. Приведен ряд рисунков с трехмерными зависимостями параметра "отклика функции" для активационной способности и других характеристик. Какие были проведены расчеты? Какие уравнения были использованы? Из текста это не ясно.

Указанные замечания не меняют положительной оценки работы. Оформление текста диссертации и автореферата соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, научный стиль диссертации

выдержан, логичность подачи материала и общее построение работы производят благоприятное впечатление.

В соответствии с п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» диссертацию Ивановой Татьяны Геннадьевны можно считать научно-квалификационной работой, имеющей существенное значение для материаловедения. По актуальности проблемы, уровню и объему выполненных исследований, научной новизне и практической значимости результатов, достоверности и обоснованности выводов, работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа и данный отзыв обсуждались на заседании кафедры «Металловедение и технологии обработки материалов» (Протокол №2 от 25 октября 2017).

Заведующий кафедрой МТОМ  
канд. техн. наук, доцент

Владимир Иванович Мосоров

ФГБОУ ВО Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

670013, г.Улан-Удэ, ул.Ключевская 42б, строение1

тел.: 89021647562

E-mail: vlmosorov@yandex.ru

