

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Ивановой Татьяны Геннадьевны «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»

Введение

Получение на поверхности деталей машин, оборудования и инструмента различных функциональных покрытий является одним из традиционных и широко применяемых инженерных решений, позволяющих обеспечить им заданные характеристики, высокое качество и повышенный ресурс без использования дорогостоящих и труднодоступных материалов (высоко- и сложнолегированные стали, композиционные материалы) в технологиях, используемых в массовом и серийном производстве. Еще более актуальными эти процессы становятся в условиях многих российских предприятий, реализующих, в силу объективных причин мелкосерийное производство.

Однако современные, «инновационные» методы и способы нанесения таких покрытий (плазменное напыление, осаждение в вакууме, лазерная наплавка и пр.) не обеспечивают необходимой даже для этих предприятий производительности, требуют наличия дорогого высокотехнологичного оборудования, специальных и также дорогих материалов, высокого качества поверхности детали, высокой квалификации оператора и годятся только для единичного производства, либо для производства продукции с высокой добавленной стоимостью.

К производительным же методам нанесения покрытий относятся химико-термическая обработка (ХТО): цементация, азотирование, карбонитрация, борирование, насыщение поверхности детали различными металлами, позволяющая, как правило, совмещать термическую обработку заготовки и получение на ее поверхности функционального покрытия в одной технологической стадии, использовать типовое, доступное термическое оборудование и доступные технические расходные материалы.

Среди всех методов ХТО именно борирование, является одним из перспективных направлений модификации поверхности деталей, так как позволяет получать полифункциональные покрытия, во многом превосходящие другие материалы по твердости, износостойкости, стойкости к коррозии и др. Однако широкому

использованию диффузионного борирования препятствуют длительность процесса, сложность аппаратного оформления при реализации газового и электролизного борирования и борирования из порошков, хрупкость получающихся покрытий.

Указанные недостатки могут быть частично устранены при реализации технологий борирования из паст и обмазок, разрабатываемых в АлтГТУ им. И.И. Ползунова, научной школой профессора А.М. Гурьева, учеником которого является и диссертант, а также одновременным насыщением поверхности детали бором и другими элементами (в рассматриваемом случае металлами) из специальных составов.

Поэтому рассматриваемая работа выполнена на **актуальную тему**, в рамках проводимых научной школой комплексных исследований, и **имеет теоретическое и прикладное значение**, так как полученные в ней результаты позволяют выявить особенности, установить закономерности и лучше понять природу происходящих процессов (определение коэффициентов диффузии, кинетических и термодинамических параметров вероятных процессов, температурно-временных зависимостей борирования, боро-хромирования и боро-хромо-титанирования) на основе которых в дальнейшем могут разрабатываться новые технологии поверхностного упрочнения.

Формальные признаки, логика, единство и внутренняя целостность диссертации.

Под **объектом исследования** автор, обозначил процесс диффузии бора, который является общим, как для углеродистых, так и для легированных сталей, тогда как **предметом исследования** можно было именовать любую его значимую часть, соотносимую с ним как частное - к общему.

Причем, в рамках заявленной темы это могут быть: и особенности его (процесса) протекания в условиях одновременного насыщения поверхности стали сразу тремя элементами бором, хромом и титаном (механизм, кинетика, термодинамика, технологии); и(или) температурно-временные зависимости диффузии; и(или) явления массопереноса бора в диффузионном слое и подслое получающегося боридного покрытия, определяющие коэффициенты диффузии; и(или) вероятные химические процессы, происходящие в насыщающей смеси; или состав, структуру и свойства получающихся при этом покрытий, или сразу несколько признаков объекта, однако, сами «диффузионные покрытия на основе бора, оказывающие определяющее влияние на формирование структуры многокомпонентных бор-содержащих покрытий на сталях» никак не могут быть предметом, а скорее наоборот, имеют объективные признаки.

Цель работы определена им как: «исследование влияния одновременной диффузии бора, хрома и титана в стали на фазовый состав, физические и механические свойства диффузионных слоев, а также разработке новых технологий комплексного поверхностного легирования сталей бором, хромом и титаном...», поэтому им и были поставлены вытекающие из цели задачи (прим. оппонента - приведено в авт. редакции):

1. Исследовать процесс одновременной диффузии бора, хрома и титана в сталях.
2. Изучить характеристики покрытий (элементный состав, толщина и микротвердость диффузионных слоев) при одновременном насыщении сталей бором, хромом и титаном в зависимости от различных температурно-временных циклов;
3. Определить фазовый состав и структуру полученных многокомпонентных диффузионных слоев на поверхности сталей различных классов.
4. Установить и научно обосновать зависимости, связывающие физико-механические свойства сталей с параметрами химико-термической обработки.
5. Разработать и внедрить в производство технологию одновременного поверхностного насыщения бором, хромом и титаном углеродистых и легированных сталей.

Причем подчеркнутыми - оказались сформулированные автором, но так и неисследованные им (спорные) задачи (моменты).

Обоснованность выбора темы работы, цели и задач исследований.

Так как работа выполнена в рамках исследований научной школы, ее тема включена в комплексный план исследований процессов диффузионного многокомпонентного насыщения поверхности сталей, отражает часть таких исследований, проведенный литературный обзор показал отсутствие публикаций по сложным, тройным процессам насыщения, поэтому она обоснована.

Автор диссертации, как уже, несомненно, состоявшийся инженер, и как молодой, амбициозный исследователь сразу «взял высокую планку» и поставил себе двоякую (теоретическую и практическую) цель в своей квалификационной работе.

Как теоретик, работающий в рамках выбранной ВАК-овской специальности, автор решил провести исследование сложного, многостадийного (в силу его природы) и одновременно идущего (уже в силу специфики выбранного объекта и процессов) по нескольким направлениям процесса - одновременной диффузии В, Сг и Тi в стали и влиянии его (в силу существования объективных материаловедческих закономерностей) на химический, фазовый состав, физические и механические свойства образующихся боридных покрытий.

Как практик же он должен был разработать новые технологии комплексного насыщения поверхностного слоя определенных стальных деталей бором, хромом и титаном для получения у них новых потребительских качеств как у материалов с модифицированной поверхностью (твердости, износостойкости, жаростойкости), так и у специально обработанных, упрочненных деталей (точность формы и размеров, долговечности и пр.).

И такой сложный выбор и целеполагание совсем не только одно желание диссертанта, все мы как ученые, представляющие результаты своих исследований научному сообществу, должны его сделать, так как - это общий признак для всех научно-квалификационных работ, выполняемых по техническим наукам.

Другой вопрос, оправдан ли такой выбор в рамках одной, конкретной кандидатской диссертации? Ведь, даже в силу объективных причин (ограниченности времени, ресурсов, в конце концов, объема диссертации) ответы на возникающие в этой связи вопросы могут далеко выйти как занормируемые научной специальностью границы, так и определяемые «Положением ВАК ...» объемы диссертации.

Но диссертант уже в первой главе показывает, что процессы одновременного насыщения поверхности стальных деталей сразу несколькими элементами металлами и неметаллами, и, в частности, этой тройкой элементов (В, Сг, Тi) разработано мало и находятся лишь на стадии лабораторных экспериментов, чем и подкрепляет свой выбор.

Анализ цели и задач исследования, критика методологии, защищаемых положений, выводов

Логический анализ показывает, что первая, вторая и третья задачи исследования взаимосвязаны, вытекают одна из другой, а их совместное решение позволит достичь первой части обозначенной цели работы, так как ее отдельные элементы (одновременная диффузия, фазовый состав, свойства (характеристики)) объективно присутствуют в них. Четвертая и пятая задачи также взаимосвязаны - их последовательное решение приведет к достижению второй части цели исследования. Поэтому целеполагание и формулировка задач выполнены логически и имеют целостность.

Так как термин одновременная диффузия предполагает ее осуществление именно путем одновременного массопереноса сразу нескольких элементов (В, Сг и Тi), то и исследовать в получающихся покрытиях логично было сразу тройку этих элементов, однако автором исследовался только бор, в то время как Сг и Тi рассматривались как компоненты среды (пусть даже и активные), при этом в тексте нет никаких данных и указаний на то, что их диффузия в различные стали, как и бора, также может отличаться,

либо, что их концентрация в покрытиях - постоянна. Исследования таких процессов и предполагает определение парных и тройных коэффициентов диффузии, о которых автор говорит в Гл. 3, но соответствующих данных не получает.

Исследование фазового состава также предполагает получение информации типовыми методами (рентгено-фазового, рентгеноструктурного, рентгено-флюоресцентного, электронографического анализа и пр.), чего также не сделано.

Поэтому задачи (1, 2, 3) в обозначенной постановке решены не полностью и цель работы в полной мере им не достигнута.

В качестве **новых научных данных** (знаний - знаний об объекте, процессе) автором обозначены (прим. оппонента - приводятся реферативно):

1. Данные о коэффициентах диффузии борав исследуемых системах и процессах.
2. Температурная зависимость энергии активации и коэффициентов диффузии бора в них же.
3. Кинетические закономерности роста толщины слоя покрытия.
4. Механизмы и условия формирования покрытий.
5. Оптимальный состав насыщающей среды и технологическиепараметры процесса.

В то же время в работе им приведены новые достоверные результаты и доказательные обсуждения (рассуждения) только для п.п.; 1-3, 5.

Поэтому в качестве **защищаемых положений** (для доказательства и аргументации которых имеются достоверные, объективные и непротиворечивые данные (результаты)) следовало бы сформулировать только п.п.:1, 2, 3 и 5,потому, что 4-ое положение - «Механизмы и условия формирования комплексных боридныхпокрытий ...» следует признать бездоказательными, не подтвержденным соответствующими данными и их интерпретацией.

Вообще, **значимость полученных результатов для теории и практики** объективно не может быть оценена в произвольный момент времени, так как и наука и инженерное дело являются открытыми, динамически развивающимися и пополняющимися отраслями знаний (практики), если только здесь не установлены (подтверждены, опровергнуты) частные или общие механизмы, законы, зависимости, и(или) не разработаны новые методы, способы, методики, и(или) решены задачи (проблемы), имеющие важное народно-хозяйственное значение (см. «Положение...»). Таковыми здесь являются (прим. оппонента - приводятся тезисно):

1. Подтвержденные, для исследуемых систем, общие закономерности (зависимости): скорости и диффузии от температуры, концентрации диффундирующего

вещества от расстояния, толщины диффузионного покрытия от времени, диффузионной природы процесса ХТО и др.;

2. Оригинальные комплексные методики исследования диффузии бора при помощи весового, энергодисперсионного и рентгено-флуоресцентного методов анализа;

3. Способ и состав для одновременного многокомпонентного насыщения бором, хромом и титаном поверхности стальной детали.

Все приведенные 3 результата **опубликованы** автором в открытой печати и **апробированы** на конференциях.

Выводы диссертации целиком основываются на проведенных исследованиях и их результатах, содержат (иллюстрируют), решения обозначенных задач, характеризуют новые научные знания с качественной и количественной стороны, характеризуют эффективность реализации новых технических решений, так:

1, 2 и 3-ий выводы основаны на полученных автором данных об энергии активации, коэффициентах и температурно-временных зависимостях диффузии бора в исследованных системах, приведенных в Гл. 3.

4-ый вывод основан на результатах оптимизации и упрощении эмпирической математической модели, являющейся совокупностью зависимостей толщины и твердости покрытий от факторов в ПФЭ 9^2 , 9^3 -модели.

5-ый вывод, по сути, описывает распределение твердости по толщине покрытия и наличие перегибов (зон) на соответствующих зависимостях, в то время как «выявленные механизмы» не описаны и опять бездоказательны.

6 и 7-ой выводы можно было бы объединить, так как они целиком касаются разработанных технологий и внедрения результатов исследования, однако данные об оптимальном составе смеси здесь почему-то отсутствуют.

Достоверность результатов подтверждается использованием современного аттестованного оборудования и известных методов анализа, аттестованных методик, согласием с теоретическими и экспериментальными данными и результатами других исследователей.

Личный вклад автора и соавторов определен и обозначен - качественно.

Таким образом, рассматриваемая диссертация имеет формальные признаки, логику, единство и внутреннюю целостность научно-квалификационной работы, а по уровню постановки цели, решенных задач, теоретической и практической значимости результатов соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям.

Содержание и структура, характеристики работы.

Диссертация имеет общепринятую структуру научно-квалификационных работ и состоит из: введения, пяти глав (обзорная, методическая, две экспериментальных и глава, содержащая описание внедрения), заключения (в которое вынесены выводы), а также библиографического списка из 116 источников.

В приложении автором вынесены акты внедрения и один из патентов.

Диссертация напечатана на 142 стр. текста, хорошо иллюстрирована (61 рис., 15 табл.).

Объем содержательной части 100 стр. (главы 1-4) распределен следующим образом, стр.: 19; 14; 54; 13.

Во **введении** стандартно даются формальные признаки диссертации: обоснована актуальность, формулируется цель и задачи, научная новизна и практическая значимость, защищаемые положения, публикации, апробация, характеристики рукописи и пр.

В **Гл. 1**, представлен литературный обзор на основе 62 цитированных источников за период с 1961 по 2016 гг. (55 лет) по разделам: основы процесса диффузионного насыщения поверхностей сталей, виды ХТО, общая характеристика процесса борирования. На основе известной из научной и справочной литературы информации, диссертант выдвигает гипотезы исследования (он называет их выводами по главе).

Главным здесь, с теоретической точки зрения, следует считать оригинальную гипотезу автора о том, что:

- Стадия адсорбции активных атомов бора поверхностью стали является лимитирующей стадией всего борирования (автор называет ее «одним из узких мест»), а управление «...течением и механизмом адсорбции при помощи химического состава насыщающей среды способно повысить скорость роста диффузионного слоя».

Остальные гипотезы, во многом являются известными утверждениями, которые для исследуемых объектов, однако, требуют подтверждения и(или) уточнения, как то:

- Одновременное насыщение стали бором, совместно с сильными карбидообразующими элементами Сг и Ti, повысит физико-механические, химические, эксплуатационные свойства как диффузионного покрытия, так и переходной зоны по сравнению с монопроцессами (борирование, хромирование, титанирование): коррозионную стойкость, износостойкость, жаростойкость и т.д., за счет их большей равномерности во всем покрытии и за счет недопущения обезуглероживания переходной зоны.

- Процессы одновременной диффузии бора, хрома и титана преимущественно должны протекать по границам зерна, что неизбежно вызовет образование сложных карбоборидов, в свою очередь, препятствующих росту зерна.

В Гл. 2, приведены сведения, необходимые для воспроизведения результатов работы и оценки их достоверности: характеристики использованных материалов, применяемые методы и оборудование, а также частные, оригинальные (вновь разрабатываемые) методики исследования, методика основного эксперимента по ХТО.

Здесь оригинальными являются методики: определения содержания и распределения бора в диффузионном слое (аналог исследований на электронно-зондовом анализаторе «Сатеса») и методика определения количества адсорбированного бора.

В Гл. 3, являющейся основной по количеству новых научных результатов и их обсуждению, приведены результаты термодинамических расчетов наиболее вероятных реакций в насыщающей среде, данные по определению коэффициентов диффузии бора, температурно-временных зависимости исследуемых параметров и др.

Здесь главными результатами, имеющими научную новизну, являются: термодинамические расчеты вероятных реакций в шихте с участием буры и алюминия, приводящих к образованию активных атомов бора; общие, квадратичные температурно-временные зависимости толщины диффузионных слоев, полученных на исследованных сталях; экспериментально определенные (кажущиеся) константы диффузии и энергии активации процессов для различных сталей; теоретические (истинные) коэффициенты диффузии бора в слое боридов и в переходной зоне покрытия для модели с непостоянным и постоянным источниками и величины энергии активации диффузии; обнаруженная экспериментально обратная (восходящая) диффузия железа и порообразование в переходной зоне.

Так как окончательную природу сложного диффузионного, многокомпонентного процесса диссертанту установить все же не удалось, да и вряд ли это возможно было сделать для столь сложной системы не исследуя одновременно с бором и диффузию Cr и Ti, тем более, что такой задачи и не ставилось, то

В Гл. 4, им приведены традиционные для таких работ эмпирические оптимизационные полиномиальные математические модели, полученные методом ПФЭ по схемам 9^2 и 9^3 , описывающие характер влияния отдельных

параметров борирования (температура; время; состав насыщающей смеси - содержание в ней бора, углерода, хрома, титана, хлора и фтора; а также дополнительный технологический фактор - время предварительной механоактивации смеси). Целевыми функциями при оптимизации выбраны главные потребительские параметры покрытия - его толщина и твердость.

Здесь оригинальными, новыми результатами являются:

- установление (отыскание) оптимального состава насыщающей среды для одновременного диффузионного насыщения стали 45 бором, хромом и титаном, при следующем соотношении ингредиентов, масс. % в виде:



- установление (отыскание) оптимального уравнения зависимости толщины (Н) боридного покрытия, мкм, в виде: $H = 40,88 + 43P + 9,364T + 1,94\tau - 0,36Ti$,

- установление (отыскание) оптимального уравнения зависимости твердости (HV^{100}) боридного покрытия, при нагрузке на индентор 100 гр., МПа, в виде:

$$HV^{100} = 36755 + 81,9T - 0,2\tau + 458B + 49Cr - 12Cr^2 - 46B^2 + 1059Cl - 39CrB + 1,57CrC$$

где: P - длительность механоактивации, сек., T - температура, °C, τ - время процесса, мин., Ti, Cr, B, C, Cl - содержание титана, хрома, бора, углерода и хлора, соответственно, в насыщающей среде, масс. %.

В Гл. 5, приведены результаты внедрения полученных результатов (насыщающего состава и технологии боро-хромо-титанирования при скорректированных оптимальных параметрах) для поверхностного упрочнения ножей из сталей Ст 3, 40Х в ООО «Ракурс» (г. Барнаул) и фильер из сталей Х12ВМФ, 7ХГ2ВМФ в ПАО «НЗХК» (г. Новосибирск), которые в обоих случаях показали увеличение износостойкости: в первом от 2 до 13-18 (в зависимости от марки стали исходного материала), и от 2,5 до 3,2 раз - во втором, а экономический эффект составил 12 000 руб./компл. и 25 000 руб./т, соответственно.

В заключении диссертант сформулировал основные результаты, обобщив отдельные выводы по главам работы и сделав новые выводы.

Замечания и вопросы по тексту диссертации.

Замечания:

1.) По качеству оформления, представления, вычитке.

В разделе «Соответствие паспорту...» в качестве п.п.: 1, 4, 6 диссертантом ошибочно указано одно и то же (п. 1 паспорта). Эта же ошибка перешла и в автореферат.

Зачем еще раз формулирует задачи исследования в конце 1-ой главы (цель и задачи он уже поставил во введении).

Препятствием для широкого применения борирования является вовсе не отсутствие спец. порошковых смесей на отечественном рынке.

Почему методика диффузионного эксперимента приведена на стр. 65-66 в Гл. 3, а не в Гл. 2. Кстати, размер образцов микрометром (пусть даже и 1-ого класса) нельзя провести с точность ± 1 мкм.

Зависимость $c=f(x)$ для распределения бора в покрытие на стали Ст 3 приведена в работе два раза (рис. 3.12; 3.13).

На всех экспериментальных зависимостях Гл. 3 и по тексту, отсутствуют доверительные интервалы, какие-либо сведения о погрешностях, числе значащих знаков после запятой и т.п., что сильно затрудняет их интерпретацию и оценку достоверности.

Скорее не измерялась не микротвердость а просто твердость (по Виккерсу). В противном случае надо указывать в какие фазы (зоны) покрытия, чем и как делали наколы.

«Странные» источники №№: 2, 70, 73, 104 в списке, где авторы почему-то, имеют фамилии, состоящие из одной буквы - это, наверное, китайцы.

Состав оптимальной смеси не приведен в тексте автореферата (а в диссертации он есть) и нигде не упомянут в выводах работы.

2.) Теоретические, методологические, методические

а.) Автор ошибочно считает, что «... массоперенос диффундирующего элемента независимо от среды насыщения происходит, как правило, через газовую фазу...» (стр. 11). Проанализируем. Так, в случае используемой им оптимальной смеси, при 950 °С в газовой фазе будут присутствовать: NH_4Cl (в виде аммиака и хлороводорода) и $\text{Na}[\text{BF}_4]$ (в виде BF_3), а это н.б. чем 6 масс. % от всей смеси. Твердых же компонентов, а это: B_4C , NaF , FeCr , FeTi , C при этом будет 77 мас. %, а жидких: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, $\text{K}_2[\text{TiF}_6]$ - 17 масс. %. Даже если принять, что весь HCl от диссоциации NH_4Cl прореагирует с ферроматериалами и даст летучие хлориды (а это при 950 °С только TiCl_x , т.к. CrCl_2 будет расплавленным, жидким), то в газ уйдет плюсом еще не более чем 2-3 масс. % (т.е. масса газов будет, максимум 10 %), то и тогда диффузия В в сталь из использованного автором оптимального состава будет скорее всего происходить из твердо-жидкой фазы, а не из газообразной.

б.) Диссертантом предполагаются исследования фундаментальных процессов и получение новых научных результатов для конкретных систем Fe-B, Fe-Cr, Fe-

Ti(диффузия, кинетика и пр.) а ссылок на оригинальные работы по аналогичным исследованиям (статьи, диссертации) всего 18-20 работ из 116, из которых (~10-12) - это работы с соавторством диссертанта. Полученные же им коэффициенты диффузии бора вообще сравниваются только с 2-я источниками [9, 104] см., например, стр. 92. Кстати источник [104] у автора- это «В.С. У. Теоретическая кристаллохимия. –М.: Изд-во МГУ, 1987. -275 с.»

в.) Лучше было привести микроструктуры не своих покрытий (с В, Cr, Ti) а уже известных (с В, Cr, В+Cr, В+Ti и пр.), а свои привести по тексту там, где их получали, чтобы не отсылать читателей с 50-ой стр. обратно на 22-ую.

г.) Выбор сталей (Ст 3 сп, 5ХНВФ, Х12МФ), в отличие, например, от компонентов борировующего состава, никак не обоснован. Сталь 45, для которой потом будет получена вся оптимизация из Гл. 4, здесь вообще не приводиться, а ее хим. состав не уточняется.

д.) Не совсем понятно и число параллельных опытов в исследованиях «3 в партии...» или «45 в эксперименте...», так 3 или 45 шт., и проводилась ли какая-либо стат. обработка результатов (кроме той, что приведена в Гл. 4).

е.) Непонятно, как при кипячении борированных образцов в мыльно-содовом растворе в течение 15-20 мин происходит снятие остаточных напряжений в боридном слое.

ж.) Говорили о рентгено-фазовом анализе покрытий на ДРОН-6 а в работе ни одной дифрактограммы или, хотя бы таблиц с данными идентификации фаз. Вообще в работе слово «дифрактограмма» встречается только 1! раз на стр. 106, да еще и в Гл. 4, где строятся эмпирические оптимизационные модели.

з.) Чем обоснован выбор стандартов бора для ЭДА (какие были в кассете или все же учитывались содержание и форма хим. связи этого элемента, точность стандарта). Время накопления данных для ЭДА 4,5 ч - это в одной точке или все-таки по всему образцу (линии). Проводилась ли дополнительная пробоподготовка (напыление углерода).

и.) В методике определения адсорбции бора за число (массу) адсорбированных частиц (а в модели Лэнгмюра это только мономолекулярный а не мкм-слой!) автором предлагается считать привес «замороженного» образца (о том, как и где морозили после 2,5 ч выдержки, кстати, ничего не сказано), а лучше, как говорит сам автор посчитать «...привес за вычетом массы боридов...»!!

Возникают большие сомнения по поводу того, что масса, приведенная в табл. 2.4, это то, что нужно для расчетов адсорбции и что после вычета массы боридов, появившихся на поверхности за 2,5 ч, из привеса всего образца останется не ноль!!!

С давлением тоже не все ясно. Если адсорбируется сам бор, а он твердый при 950 °С, да еще и на твердой же поверхности стали, сколько не дави - толку не будет. Давление влияет только на скорость и равновесие в газовых реакциях (процессах) - это постулат, см. хотя бы странный источник под № 70 в библиографическом списке диссертанта [С.И. Л Физическая и коллоидная химия. Конспект лекций для студентов РГУ. 2004. -27 с.] Но 100 % даже в нем, несмотря на его странность, даже автор Л об этом точно сказал бы, даже несмотря на 27 стр. выделенного ему объема.

Так на что тогда здесь влияет давление и почему оно получилось разное, хотя обмазка одна.

к.) В разделе 3.1 говорили об алюминии, и хотели заменить часть B_4C на буру из которой бы получали бор по одной из вероятных реакций с алюминием, однако далее в смесях нигде (даже в патенте) его нет. Почему? И вообще непонятно, из смеси какого состава были получены все покрытия в этой главе. Это, очевидна некая оптимальная смесь?

л.) По главе 3 идет путаница с константами (из уравнения $D=h^2/t$) и коэффициентами (из Фика) диффузии, что порождает много лишних расчётов, графиков и пр. Первое уравнение - лишь оценочное (как правильно сказал сам автор «для инженерных расчетов»), а второе - дает более или менее правдоподобное представление об интересующем параметре. Если нужно было просто описать кинетику, и даже найти $E_{акт.}$ (убедившись, что перед тобой диффузия, осложненная хим. реакцией), то, положив $T=const$, из графиков $h=f(t)$ для разных сталей на их однотипных участках («стадиях» по автору) находятся и скорости dc/dt и константы скорости, а далее также по уравнению Аррениуса идет расчет.

м.) Вместо пространных рассуждений о влиянии состава стали на различные параметры диффузии по тексту работы, в частности, например, для подтверждения универсальности обнаруженной температурно-временной зависимости толщины боридного слоя, и далее - для температурных зависимостей коэффициентов диффузии, можно было просто взять величину ее углеродного эквивалента $C_{экв.}$ (как это делают сварщики), рассчитанную по любой из известных формул, например по формуле американского общества сварщиков, формуле Де-Ардена и О-Нила, или по ГОСТ 19281-89.

н.) Просто, сравнивая зависимости $c=f(x)$ для диффузионного слоя и переходной зоны на Ст 3 с теоретическими (рис. 3.10; 3.11) видно, что в одном случае надо использовать модель диффузии с непостоянным источником (одном при описании диффузии от 0 до 100 мкм, другом - от 100 мкм и далее), а в другом - с постоянным.

Более того, если бы были доверительные интервалы, все данные можно было усреднить и аппроксимировать одной зависимостью (уравнением или таблично), после чего просто решить уравнение Фика численно (в любом доступном ПО, например MathCad), тогда разделы главы, описывающие математические выкладки решений для разных моделей источника можно было значительно сократить, освободив место, например для результатов рентгено-фазового анализа покрытий на разной глубине.

о.) Похоже, что в конце Гл. 3, автор все же сам и закрыл «узкое» адсорбционное место борирования, более длительным, сложным и многокомпонентным диффузионным процессом, осложненным образованием и распадом химических соединений в получающемся покрытии для выбранных им многокомпонентных систем: Fe-C-B, Fe-C-B-Cr, Fe-C-B-Cr-Ti, для иллюстрации которых (процессов, фаз) можно было бы просто привести фазовые диаграммы (систем).

Вопросы:

1.) Как выяснилось (не сразу, а только в 3-ей главе!) автором исследовалась диффузия только одного элемента - бора, в то время как при насыщении в поверхностный слой стали поступают также металлы, Cr и Ti. В этой связи, по меньшей мере, удивительно, что автор, имея хорошие приборные возможности, не проследил и за ними. Полученные при этом результаты явно бы изменили картину его воззрений на происходящие процессы!

2.) Как соотносятся данные, полученные из общей для всех сталей температурно-временной зависимости толщины боридного слоя, для времени 1-ой адсорбционной стадии в 0-3 мин., с выдвинутой гипотезой о лимитировании этой стадией всего процесса насыщения, тогда как на рис. 3.5-3.7, есть и более продолжительные стадии (2-ая в 3-10 мин, и 3-ая - в сотни минут-часы)? При таком соотношении их длительностей естественно не имеет смысла рассматривать «инкубационный период» в котором и осуществляется адсорбция, которую так «хитро» исследовали в Гл. 2.

3.) По тексту Гл. 3, так и осталось непонятным, что это за «новые фазы», располагаются на разных глубинах слоя и вызывают перегибы на рис. 3.12; 3.15; 3.18 и смену механизма на рис. 3.25 -3.27, и за счет чего в покрытии образовались поры, диаметр которых доходит до 2,76 мкм!?

При этом постоянно рассуждая о «химических» причинах (осложнениях) адсорбции, диффузии и т.п. в слое и прослойке автор не привел ни одного, хотя бы схематического уравнения происходящих процессов, формул (состава) фазы и т.п.

4.) Почему, как следует из точек на рис. 4.1-4.9, в одних случаях варьирование факторов проводили на 2-ух, а в других на 3-ех уровнях значений?

5.) Почему оптимальная поверхность отклика для функции твердости покрытия (рис. 4.9) оказалась не зависящей от содержания бора и титана, а в полном уравнении (см. уравнение выше или же формула 4.4) они присутствуют? Выбранная здесь (в уравнении) форма задания состава смеси неудачна, так как не отражает реальных, использованных ингредиентов, форму и содержание элементов в них и т.д. И почему оказалось, что на толщину покрытия из диффундирующих элементов влияет только титан (см. уравнение выше или же формула 4.3)?

6.) Почему все оптимизационные модели, формулы и зависимости получены для Ст 45, в том числе и оптимальный состав смеси, в то время как экспериментально были исследованы другие материалы: Ст 3 сп, 5ХНВФ, Х12МФ. Коэффициенты диффузии бора в эти стали получены для этой оптимальной смеси?

7.) Как повлияло на корректировку оптимальных параметров процесса боро-хромо-титанирования изменение марки материала по сравнению с исследованными: Ст 3 на 40Х и стали Х12МФ на Х12ВМФ, 7ХГ2ВМФ и можно ли дать какие-либо обоснованные рекомендации по корректировке режимов боро-хромо-титанирования на основе общих теоретических рассуждений и результатов рассматриваемой диссертации?

8.) Каким образом, и главное зачем, закаливались ножи из не закаливаемой стали Ст 3, и как конкретно осуществлялся технологический процесс упрочнения фильер?

Тем не менее, приведенные замечания не снижают очевидных достоинств работы и общего положительного впечатления от нее.

Оппонент надеется на то, что диссертант ответит на указанные вопросы иотреагирует на замечания в процессе публичной защиты работы, сделанные вопросы и замечания не меняют общей, положительной оценки работы.

Автореферат и публикации.

Автореферат соответствует содержанию оппонируемой диссертации в той мере, как это можно сделать в условиях его ограниченного объема.

Публикации в открытой печати в полной мере отражают основные результаты, полученные автором в работе. Всего диссертантом в соавторстве опубликовано 26 статей (в том числе 10 в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 2 из которых цитируется международными наукометрическими базами Scopus и Web of Science).

Работа прошла хорошую апробацию на 9 Международных и Всероссийских научных конференциях.

Оформление, текст диссертации и автореферата.

Соответствует требованиям, предъявляемым к такого рода работам, стиль текста - научный, выдержана логичность подачи материала и общее построение работы.

Связь работы с научными темами, программами.

Актуальность и значимость проведенных исследований для теории и практики подтверждается ее связью с научными темами и программами, поддержанными грантом РФФИ и Администрации Алтайского края «р_Сибирь_а»: проект №13-08-98107 «Исследование механизма диффузионных процессов при формировании на поверхности железо-углеродистых сплавов комплексных диффузионных покрытий на основе бора, хрома и титана», в также государственным заданием Минобрнауки РФ, Проект № 885 «Разработка научных основ управления процессами структурообразования материалов и покрытий при модифицировании многокомпонентными системами», а новизна технических и технологических решений - патентами РФ №№: 2556805, 2381299, 2440869 и 2556805.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности.

Содержание диссертации, полученные и опубликованные автором научные результаты имеют соответствие паспорту научной специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» в части ее формулы, так как эта область науки и техники, «занимается изучением связи между химическим составом, кристаллической структурой, структурным состоянием и свойствами металлов и сплавов; разработкой физико-химических основ создания новых металлических материалов с заданными свойствами и новых технологических процессов термической, химико-термической и термомеханической обработки, а также в части областей исследования по п.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».

4. «Теоретические и экспериментальные исследования термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий изменения структурного состояния и свойств металлов и сплавов».

6. «Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химикотермической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим воздействием, а также специализированного оборудования».

10. «Разработка новых и совершенствование существующих методов фазового, структурного и физико-химического анализов сплавов».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

В соответствии с п.9. Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г., № 842 (в ред. от 28.08.2017 г.) «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней») диссертацию Ивановой Татьяны Геннадьевны можно считать научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития металлостроения и термической обработки металлов и сплавов. Рассматриваемая диссертация также соответствует и п.п.: 10, 11, 13, 14 «Положения...».

По совокупности формальных признаков, актуальности проблемы, уровню и объему выполненных исследований, научной новизне и практической значимости полученных результатов, достоверности и обоснованности сделанных выводов, рассматриваемая работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор-Иванова Татьяна Геннадьевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук, по специальности 05.16.01 - «Металлостроение и термическая обработка металлов и сплавов».

Оппонент,

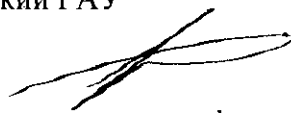
д.т.н., доцент, профессор кафедры

«Технология конструкционных материалов

и ремонт машин», ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ

Ишков Алексей

Владимирович



Адрес: 656049, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98,

ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, каб. 154,

Тел.: +7-(3852)-62-83-80

e-mail: alekseyvishk@rambler.ru

