

Заключение диссертационного совета Д 212.252.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18 февраля 2020 г. протокол №154

О присуждении Иванову Сергею Геннадьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Развитие теоретических и технологических основ химико-термической обработки сталей и сплавов с применением совмещенного диффузионного насыщения бором, хромом и титаном» по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» принята к защите 14.11.2019 г., протокол № 153, диссертационным советом Д 212.252.01, созданным на базе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 654007, г. Новокузнецк, Кемеровская обл., ул. Кирова, 42, приказом №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Иванов Сергей Геннадьевич, 1982 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка состава насыщающей смеси и технологии диффузионного борохромирования тяжело нагруженных деталей машин и инструмента» защитил в 2007 году в диссертационном совете, созданном на базе Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, работает заведующим лабораториями Центра коллективного пользования лабораторно-исследовательским оборудованием ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Современные специальные материалы», «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Гурьев Алексей Михайлович, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», кафедра «Начертательной геометрии и графики», заведующий

кафедрой.

Официальные оппоненты:

Шморгун Виктор Георгиевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО "Волгоградский государственный технический университет", кафедра "Материаловедение и композиционные материалы", профессор;

Ишков Алексей Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», кафедра "Технология конструкционных материалов и ремонт машин", профессор;

Сизов Игорь Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО ««Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», проректор по научной работе и инновациям.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул, в своем положительном заключении, подписанном Плотниковым Владимиром Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой общей и экспериментальной физики и утвержденном Максимовой Светланой Геннадьевной, доктором социологических наук, профессором, проректором по научному и инновационному развитию указала, что диссертация Иванова С.Г. соответствует критериям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 « О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Иванов С.Г. заслуживает присуждения ему степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Соискатель имеет 200 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 195 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 74 работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах отсутствуют. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации – 83,1 печатных листа. В зарубежных и переводных рецензируемых изданиях, индексируемым в наукометрических базах Web of Science и Scopus по теме диссертации опубликовано 9 работ, а также 3 монографии в соавторстве и 10 патентов РФ. В публикациях отражены основные научные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы. В публикациях, включенных в список основных по теме диссертации и подготовленных в соавторстве, вклад соискателя составляет 65%.

Наиболее значимые работы по диссертации:

1) Гурьев А.М. Микроструктура диффузионного покрытия, полученного одновременным насыщением бором, хромом и титаном углеродистой стали 45 / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Черных Е.В. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2018. – Т. 15. – №2. – С. 283 – 288.

2) Иванов С.Г. Борирование титана ОТ4 из порошковых насыщающих сред / Иванов С.Г., Гурьев М.А., Логинова М.В., Деев В.Б., Гурьев А.М. // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2017. – №2. – С. 59-65.

3) Гармаева И.А. Сравнительное исследование насыщающей способности борирующих сред различного состава / Гармаева И.А., Гурьев А.М., Иванова Т.Г., Гурьев М.А., Иванов С.Г. // Письма о материалах. – 2016. – Т.6. – №4(24). – С. 262-265.

4) Гурьев А.М. Химико-термическая обработка материалов для режущего инструмента / Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М. А., Черных Е.В., Иванова Т.Г. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2015. – Т.58. – №8. – С. 578 - 582.

5) Иванов С.Г. Особенности приготовления насыщающих смесей для диффузионного борохромирования / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Старостенков М.Д., Иванова Т.Г., Левченко А.А. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т.57. – №2. – С. 116-118.

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов, все отзывы положительные.

Отзывы с замечаниями: Колубаева Александра Викторовича, д.ф.-м.н., профессора, заведующего лабораторией Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (1. В положениях, которые вынесены на защиту, отсутствуют утверждения, отражающие выявленные в работе важные причинно-следственные связи описаний и полученных результатов; 2. На стр. 14 автореферата отмечено, «что при одновременном трехкомпонентном насыщении бором, хромом и титаном при температурах вплоть до 1050°C фаза FeV не выявляется». Однако в автореферате не раскрываются причины отсутствия этой фазы; 3. В автореферате на стр. 12 указано, что «основное содержание работы опубликовано в 195 работах». Тем не менее, в конце автореферата приведены 85 работ в качестве основных публикаций; 4. В тексте автореферата встречаются неточности в написании некоторых слов. На стр 16 в последнем абзаце должно быть слитно написано слово «невозможны». На стр. 18 правильно будет «i-компонент». На стр. 22 не хватает буквы в слове «способствуют». На стр. 21 есть сочетание «более градиентные», которое в научной литературе не применяется); Альимова Михаила Ивановича, д.т.н., профессора, чл.-

корр РАН, директора ИСМАН и Сайкова Ивана Владимировича, к.т.н., старшего научного сотрудника Лаборатории ударно-волновых процессов ИСМАН (1. При проведении химико-термической обработки образуется структура видманштетта, характеризующаяся низкими показателями механических свойств. Автор работы не указывает методы устранения этой структуры; 2. Фазовый состав комплексных диффузионных покрытий на сталях приведен расплывчато. Фазовый состав диффузионных покрытий на титановых и карбидовольфрамowych сплавах не приведен вообще; 3. Существенное расхождение между заявленным количеством публикаций по теме диссертации (195 работ) и приведенным в автореферате списком публикаций (85 работ)); Кур Александра Александровича, к.т.н., доцента Высшей школы физики и технологии материалов Федерального Государственного Автономного Образовательного Учреждения Высшего Образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (1. В п.3 научной новизны диссертант использует термин «образование атомов», хотя в контексте распада карбида хрома следует употребить термин «диссоциация». Также из автореферата непонятно, как присутствие кислорода способствует этой диссоциации; 2. Судя по рис. 1 и по его описанию, термодинамические расчеты проведены для простых реакций, в то время как речь идет твердофазных превращениях в многокомпонентном сплаве в условиях градиента концентрации элементов. Непонятно, как соотносятся с этим приведенные расчеты. То же самое касается решения уравнения Онзагера, где, судя по всему, считалось, что атомы диффундируют в чистом железе; 3. На с.23 автореферата показано, что микротвердость слоя боридов после борирования стали Ст3 составляет 2250HV, что на 450HV выше известного из литературы значения в 1800HV. Однако не дается объяснения этому факту; 4. Судя по работе, предлагаемая автором технология позволяет добиваться существенных экономических показателей при производстве изделий, работающих при повышенном трении. Однако, расчеты экономического эффекта в автореферате не приведены); Мансурова Юлбарсхона Набиевича, д.т.н., профессора, руководителя Филиала РХТУ им. Д.И. Менделеева в Ташкенте (Не во всех цифровых результатах работы показан доверительный интервал. Кроме того, автор ограничил в автореферате представление диссертационного материала результатами электронно-микроскопических исследований – спектральным, рентгеновским либо микрорентгеноспектральным, фазовым и элементным анализами); Шацова Александра Ароновича, д.т.н., профессора кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» ФГБОУ ВО «Пермский национальный политехнический университет» (1. Из текста автореферата не ясно, были ли результаты сопоставлены с мировыми аналогами; 2. автор не называет альтернативные возможности упрочнения поверхности; 3. В автореферате не приведена аргументация отказа от использования известных решений уравнения диффузии; 4. отсутствуют данные о выборе составов насыщающих смесей и их оптимизации; 5. Не ясен подход, позволивший определить коэффициенты диффузии в фазах и твердых растворах; 6. автор не предоставляет данные о точности эксперимента и проверке адекватности моделей); Первухина Леонида Борисовича, д.т.н., научного руководителя ООО «битруб Интернэшнл» (1. В автореферате отсутствует обоснование выбора соединений Cr и Ti для

насыщающих смесей; 2. Было бы не лишне привести в автореферате результаты рентгеновской дифрактометрии, подтверждающие утверждения о фазовом составе; 3. Чем объясняется выбор такого широкого спектра материалов, куда входят углеродистые и легированные стали, титановые сплавы и карбидовольфрамовые твердые сплавы); Белова Николая Александровича, д.т.н., профессора кафедры ОМД НИТУ «МИСиС» (1. Не понятно, с какой целью содержится титан в насыщающих смесях для диффузионного насыщения титана; 2. Не приведены составы насыщающих смесей для диффузионного насыщения титановых и твердых сплавов, а также технологические параметры насыщения; 3. Из автореферата не ясно, имеет ли промышленное применение технология диффузионного комплексного насыщения бором, хромом и титаном титановых сплавов. И если имеет, то где; 4. В автореферате приведены только оптические микроструктуры, а структуры, полученные методами электронной микроскопии, которые обладают существенно большей информативностью отсутствуют; 5. Не ясно, как проводилась идентификация фаз, присутствующих в покрытиях. В частности боридов); Хина Бориса Борисовича, д.ф.-м.н., доцента, ведущего научного сотрудника НИЛ упрочнения НИПИ Белорусского Национального технического университета и Константинова Валерия Михайловича, д.т.н., профессора, заведующего кафедрой «Материаловедение в машиностроении» Белорусского Национального технического университета (1. На стр. 14 приведены зависимости энергии Гиббса ΔG (рис. 1) для 10-ти гетерогенных реакций, причем только две из них (помеченные значками Δ и \blacktriangle) термодинамически вероятны при $T > 900$ °C (т.е. имеют $\Delta G < 0$). Но при таком количестве химических элементов, входящих в состав системы, может протекать множество независимых реакций, причем их число определить крайне сложно, в ряде случаев – невозможно. Еще в 1938 г. Я.Б. Зельдовичем было показано, что равновесие замкнутой многокомпонентной системы однозначно определяется минимумом энергии Гиббса всей системы (а вовсе не отдельных реакций). Для термодинамических расчетов подобных систем используют компьютерные программы, в том числе вполне доступные по цене российские разработки (1980-е гг и позже), выполняющие поиск равновесного состава системы, отвечающего указанному условию, при заданном исходном составе и температуре. На основании результатов таких расчетов можно судить о механизме доставки насыщающих элементов из порошковой смеси к поверхности стали. Поэтому приведенные на рис. 1 графики не способствуют пониманию термодинамики и механизма процесса ХТО; 2. На стр. 17-19 соискателем приведена диффузионная задача для трехкомпонентного насыщения железа (уравнения (5)). При этом на рис. 3 показана многофазная область, где границы фаз при $X > 0$ соответствуют координатам X_1 и X_2 , и при этом в зонах II, III и IV содержатся разные фазы (см. верхнюю часть рис. 3): II – высшие бориды, III – низшие бориды, IV – только твердый раствор на основе Fe. Но тогда на границах X_1 и X_2 должны быть скачки концентраций всех элементов, а не только бора (см. рис. 3). По своему физическому смыслу ур. (5) на самом деле записаны для трехкомпонентной диффузии в одной и той же матрице твердого раствора (первое, второе, и третье слагаемое в правой части), содержащей дисперсные включения других фаз, поскольку последнее слагаемое в правой части имеет смысл источникового/стокового члена, описывающего именно

взаимодействие матрицы с включениями (в физике это называется «задача типа внутреннего окисления»). При этом не учитывается наличие границ слоев X1 и X2, на которых фазовый состав меняется скачком и, следовательно, должны ставиться дополнительные граничные условия для каждого элемента (типа условия баланса массы на движущейся границе). Отметим также, что не все параметры задачи описаны в тексте; 3. Использование стали обыкновенного качества (Ст3) для исследования сложных, многофакторных процессов термодиффузионного насыщения выглядит в 21 веке анахронизмом. Чрезвычайно широкий допускаемый диапазон изменения химического состава (например, по углероду 0,14–0,22 % масс.) не позволяет получать стабильные, повторяемые результаты. Возможно, автору удалось использовать для всех исследований сталь одной плавки. В этом случае следует указать конкретный химический состав; 4. Традиции научной школы Ляховича Л.С., Ворошнина Л.Г. предполагают описание упрочненных поверхностных объемов металлических изделий после ХТО как термодиффузионных (диффузионных) слоев. Термин «покрытие», по нашему мнению, является не совсем корректным для описания поверхностной зоны, в которой произошло некоторое изменение химического состава и, соответственно, структуры, без дополнительного нанесения некоего сплава. Аргументация типа «устоявшаяся практика научной литературы» не убедительна, так как противоречит физической сущности явления; 5. Вызывает сомнение целесообразность включения в список публикаций соискателя ряда наименований: а) Книга в издательстве «LAP LAMBERT», г. Саарбрюккен, Германия (№1 на стр. 43). Это издательство не практикует рецензирования и даже редактирования рукописей. Публикации в данном издательстве не учитываются при расчете индивидуального рейтинга научных работников РАН и ведущих университетов России (цитируем по https://ru.wikipedia.org/wiki/VDM_Publishing и <https://www.library.spbu.ru/blog/?p=6231>). Более того, они не учитываются в качестве официально опубликованной монографии (<https://rg.ru/2016/11/03/reg-urfo/izdatelstvo-sdelalo-biznes-na-uchenyh.html>). б) Статьи №23 (стр. 36), №27 (стр. 37), №50 (стр. 40), а также патенты №6 и №9, судя по названиям, не имеют прямого отношения к тематике диссертации. в) Необходимо уточнение авторского вклада соискателя в коллективную монографию №3 (стр. 43) с большим числом соавторов (>20). Возможно, это не монография, а изданный под грифом монографии сборник трудов конференции, состоящий из отдельных глав. В таком случае обычно указывают отдельную главу, а не всю книгу); Жукова Анатолия Алексеевича, к.т.н., профессора, профессора кафедры «Материаловедения, литья и сварки» ФГБОУ ВО РГТУ имени П.А. Соловьева (На странице 16 приведен рисунок 2 – линейные зависимости $1/a = F(1/P)$, под рисунком приведены линейные статистические уравнения. Расчет по этим уравнениям не соответствует графикам, так, например, для борирования при $x(1/P) = 0,11$ и $y(1/a) = 2,5$ на рисунке имеем $1/a = 3,3$. Аналогичные несоответствия выявлены и для других уравнений. На этой же странице (5строка) снизу показано, что ни растворы внедрения, ни растворы замещения в случае диффузии бора не возможны, тогда не понятно, как происходит диффузия бора? Кроме того, приведенное заключение соискателя противоречит данным работы М.А. Кристалла (Механизм диффузии в железных сплавах. – М.: 1972 стр 223), где указано, что бор образует растворы внедрения в аустените и

замещения в феррите. На странице 26 в таблице 4 приведены некоторые результаты металлографического анализа, например, плотность карбидов (шт/мм²) и средний размер карбидов (мкм). Эти данные не согласуются между собой. При количестве карбидов 3 043 509 на 1 мм² = 1000000 мкм². Средний размер карбидов составляет 0,33 мкм, а не 2,39 мкм, как указано в таблице. Значение объемной доли карбидов 15% не согласуется с величиной плотности и размера карбидов. Непонятно, с какой целью тогда приведены сомнительные результаты металлографического анализа.); Дмитриева Сергея Владимировича, д.ф.-м.-н., профессора, зав. лабораторией 09 «Нелинейная физика и механика материалов» ФГБУН «Институт проблем сверхпластичности металлов» РАН (Не на всех графиках указан доверительный интервал (например, рисунки 5 и 8 автореферата). Автор пишет (страница 27 автореферата, последнее предложение первого абзаца): «...титан присутствует в виде боридов TiB и TiB₂, карбида TiC и силицида Ti₅Si₃». Однако не конкретизирует, на каких сталях эти фазы и в каком количестве присутствуют. Было бы полезно привести в автореферате подтверждающий материал, например – дифрактограммы); Потекаева Александра Ивановича, д.ф.-м.-н., профессора, директора Сибирского физико-технического института имени акад. В.Д. Кузнецова Национального исследовательского Томского государственного университета и Клопотова Анатолия Анатольевича, д.ф.-м.-н., профессора, научного сотрудника Сибирского физико-технического института имени акад. В.Д. Кузнецова Национального исследовательского Томского государственного университета (в автореферате нет списка цитированных работ, хотя в аналитическом обзоре упоминаются фамилии ученых, внесших значительный вклад в решение рассматриваемой проблемы); Арышенского Владимира Юрьевича, д.т.н., доцента, профессора кафедры ОМД федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Если использовать другие материалы, например керметы, безвольфрамовые твердые сплавы, можно ли получить эффект от применения предлагаемой автором технологии? В автореферате не приводятся дифрактограммы диффузионных покрытий, с дифрактограммами было бы нагляднее. Какие меры применяются для устранения типичных для таких покрытий недостатков (приваривание смеси, оплавление гравюры штампов, трещин при закалке)? Следовало бы указать, в каких нагревательных печах выполнялись исследования, особенно промышленные).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью, научной квалификацией и достижениями в области металловедения, нанесения упрочняющих покрытий, термической и химико-термической обработки металлов и сплавов. Все оппоненты имеют публикации в области исследования структуры и свойств упрочняющих покрытий на сталях и сплавах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея, обогащающая научную концепцию формирования многокомпонентных диффузионных покрытий на сталях и сплавах для повышения их эксплуатационных свойств в результате комплексного насыщения бором, хромом и титаном за один термический цикл;

предложена оригинальная научная гипотеза диффузионного насыщения бором, хромом и титаном по механизму многокомпонентной диффузии в процессе комплексного насыщения этими элементами сталей и сплавов;

доказано наличие зависимостей между увеличением скорости диффузионных процессов и количеством активных компонентов в насыщающей смеси при насыщении сталей и сплавов одновременно бором, хромом и титаном;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений о закономерностях структурно-фазового состояния диффузионных покрытий, полученных комплексным насыщением сталей бором, хромом и титаном;

применительно к проблематике диссертации эффективно использован комплекс существующих базовых методов исследования в металловедении (оптическая и электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, измерение твердости, определение износостойкости), в том числе методы обработки экспериментальных данных, обладающих новизной;

изложены условия структурообразования комплексных трехкомпонентных бор-хром-титановых покрытий на сталях, титановых и карбидовольфрамовых твердых сплавах при их одновременном насыщении бором, хромом и титаном за один термический цикл;

раскрыты механизмы формирования диффузионных слоев на сталях и сплавах при их одновременном насыщении бором, хромом и титаном за один термический цикл;

изучены причинно-следственные связи между химическим составом насыщающей среды, составом насыщаемого сплава и параметрами насыщения, обеспечивающие получение комплексных диффузионных покрытий, толщина которых в 3 – 8 раз больше, чем у известных аналогов;

проведена модернизация существующей математической модели многокомпонентной диффузии, обеспечивающей получение новых результатов для обоснования синергетического эффекта при совместной диффузии атомов бора, хрома и титана в условиях твердофазного насыщения поверхности сталей и сплавов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены новые составы насыщающих сред и технологии комплексного диффузионного насыщения бором, хромом и титаном за один термический цикл сталей – на ООО «МОКВИН», ООО «Алтайский завод прецизионных изделий», ООО «РАКУРС», ООО «СВЭЛ», ООО «Вектор», ПАО «Новосибирский завод химконцентратов», ООО «Теплоарматура» и сплавов ВК8 и Т5К10 в условиях «Северсталь-метиз» ПАО «Северсталь». Совокупный экономический эффект составляет 4 млн 800 тыс. руб;

определены перспективы практического использования разработанных упрочняющих составов и технологий;

создана система практических рекомендаций для выбора составов насыщающих сред и использования режимов химико-термической обработки различных типов сталей и сплавов;

представлены предложения по применению разработанных технологий комплексной химико-термической обработки титановых сплавов и карбидовольфрамовых сплавов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов экспериментальных исследований в различных условиях;

теория диффузионного насыщения сталей и сплавов одновременно бором, хромом и титаном построена на известных фактах и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея трехкомпонентного упрочнения сталей и сплавов базируется на анализе практики и обобщении передового опыта в области химико-термической обработки сталей и сплавов;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение авторских результатов работы с результатами других авторов, представленными в независимых источниках по тематике диссертации;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в:

включенном участии на всех этапах процесса, непосредственном участии соискателя в получении исходных данных и научных экспериментах, личном участии в апробации результатов исследования, выполненных лично автором или при участии автора, обработке и интерпретации экспериментальных данных, выполненных лично

автором или при участии автора, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Представленная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема повышения износостойкости деталей машин и механизмов из сталей и сплавов химико-термической обработкой с применением совмещенного диффузионного насыщения поверхностей бором, хромом и титаном, имеющая важное хозяйственное значение, а также изложены новые научно обоснованные технологические решения по совершенствованию технологий комплексного многокомпонентного насыщения сталей и сплавов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 17, против - 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Протопопов Евгений Валентинович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Нохрина Ольга Ивановна

18 февраля 2020 г.