

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Иванова Сергея Геннадьевича
«Развитие теоретических и технологических основ химико-термической обра-
ботки сталей и сплавов с применением совмещенного диффузионного насы-
щения бором, хромом и титаном», представленную на соискание
ученой степени доктора технических наук по специальности:
05.16.01 — «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».**

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованных источников из 227 наименований, приложений. Общий объем работы – 356 страниц машинописного текста, включающего 165 рисунков, 31 таблицу.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Тема диссертационной работ Иванова С.Г. посвящена важной проблеме – обеспечению повышения износостойкости сталей и сплавов на основе технологий физико-химических методов поверхностного упрочнения. Непрерывно растущие требования к производительности процессов обработки и переработки различных материалов и веществ диктуют необходимость все более широкого применения высоколегированных сталей и твердых сплавов, имеющих высокие показатели износостойкости, теплостойкости, коррозионной стойкости и т.д. Необходимость повышения ресурса работы обрабатывающего инструмента, рабочих органов и деталей машин при условии сохранения себестоимости продукции, определяют потребность в совершенствовании существующих и разработке новых технологий поверхностной упрочняющей обработки. На этом основании применение перспективных видов химико-термической обработки (борирование, титанирование, и т.д.) привлекает относительно малыми затратами и достаточно высоким получаемым эффектом при условии, что подавляющая масса стальных изделий в процессе их изготовления все равно проходит объемную термическую обработку. С этой точки зрения распространение, оптимизация и совершенствование методов диффузионного поверхностного упрочнения сталей и сплавов позволяет получать высокоэффективные износостойкие покрытия одним из самых простых способов – определяет актуальность диссертационной работы.

В диссертационной работе Иванова С.Г. использованы современные методы металлографии и физического металловедения, что позволило автору разработать новые технологии химико-термической обработки, исследовать структурно-фазовое состояние материалов с новыми трехкомпонентными покрытиями и предложить представления о механизмах формирования и управления параметрами диффузионных покрытий, содержащих бор, хром и титан, путём изменения химического состава и параметров процесса насыщения.

Диссертационная работа поддержана различными грантовыми программами федерального, регионального и муниципального уровня, среди которых есть гранты РФФИ, грант Президента РФ, муниципальные гранты. Кроме того, результаты работы дважды удостоены государственных наград регионального уровня. Это также подтверждает актуальность работы и ее значимость для промышленно-экономического развития народного хозяйства.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации в работе базируются на корректном выборе и применении теоретических и экспериментальных методов современного материаловедения и анализа: рентгенофазовый анализ, электронная и атомно-силовая сканирующая микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ и т.д.

Автором выполнены теоретические и экспериментальные исследования процессов совместной адсорбции и дальнейшей совместной диффузии атомов бора, хрома и титана в поверхность железа. По результатам исследований установлены механизмы поглощения и дальнейшей диффузии активированных атомом с формированием ими диффузионного покрытия на поверхности железоуглеродистых сплавов. В дальнейшем проведены исследования, позволившие установить закономерности фазо- и структурообразования трехкомпонентных диффузионных покрытий на углеродистых и легированных сталях различных классов.

Таким образом, обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций, следующих из экспериментальных данных, полученных с применением современных апробированных методов исследований, не вызывает сомнений. Все научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, подтверждены публикациями в ведущих по данной научной специальности рецензируемых журналах, входящих как в список изданий, рекомендованных ВАК, так и в международные базы Web of Science и Scopus: «Известия вузов. Черная металлургия», «Известия вузов. Цветная металлургия», «Известия вузов. Физика», «Письма о материалах», «Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)», «Фундаментальные проблемы современного материаловедения» и др.

Практическая реализация разработок автора диссертационного исследования, их промышленные испытания и внедрение в производство также доказывает обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций.

3. Оценка новизны и достоверности

Диссертационная работа содержит совокупность новых научных положений, которые систематизированы и приведены в диссертации и автореферате в виде основных результатов и выводов. Достоверность этих результатов подтверждается

практической реализацией в производственных условиях, значительным объемом экспериментальных данных, использованием современных методик анализа, корректностью постановки задач и обработки результатов экспериментальных исследований.

Согласно диссертации и автореферата новизна полученных результатов заключается в следующем:

1. Проведены комплексные исследования условий формирования диффузионных покрытий на сталях и сплавах в результате одновременного диффузионного насыщения тремя элементами: бором, хромом и титаном. Выявлено, что одновременное диффузионное насыщение сталей хромом, титаном и бором позволяет повысить скорость формирования диффузионного слоя в среднем на 10–15 % по сравнению с двухкомпонентным насыщением бором и хромом. Кроме того, на 10–30 % повышается износостойкость в коррозионно-активных средах.

2. Получено частное решение уравнения Онзагера для случая одновременного трехкомпонентного насыщения железа бором, хромом и титаном относительно функций толщины диффузионного покрытия с непрерывно изменяющимся коэффициентом диффузии атомов бора, хрома и титана.

3. Методом рентгеновской дифрактометрии установлено, что при одновременном насыщении железоуглеродистых сплавов бором, хромом и титаном, на углеродистых сталях диффузионные покрытия содержат высокобористую (FeB) и низкобористую (Fe_2B) фазы, а также бориды и карбобориды хрома и железа. Титан в случае насыщения сталей с содержанием углерода до 0,5 масс. % собственных боридов не образует, а легирует бориды и карбобориды железа, также образует карбид титана TiC и силид Ti_5Si_3 . На высокоуглеродистых и легированных сталях отмечается присутствие боридов титана TiB и Ti_2B а также карбида TiC .

4. Получены новые научные данные о структурно-фазовом состоянии диффузионных покрытий на титановых сплавах для случаев их одновременного комплексного диффузионного насыщения из насыщающих сред, содержащих бор, хром и титан. Формируются диффузионные покрытия толщиной до 75 мкм, состоящие из ди- и моноборида титана, карбида титана, переходная зона содержит интерметаллидные соединения титана и хрома типа TiCr_2 , TiFe_2 , FeTi и т.д. Микротвердость комплексных покрытий на титане достигает 3500 $\text{HV}_{0,1}$.

Научная и практическая новизна вышеперечисленных результатов подтверждается десятью патентами РФ на изобретения, публикациями в ведущих рецензируемых журналах по данной специальности и актами производственных испытаний. Результаты работы, в том числе и представляющие ее научную новизну, неоднократно обсуждались на различных конференциях (более 40 научных мероприятий).

4. Практическая значимость результатов работы

Практическая ценность диссертационного исследования Иванова С.Г. определяется следующим:

1. Показано, что совмещенное одновременное бор-хром-титанирование твердых сплавов ВК8 и Т5К10 позволяет получить диффузионные покрытия толщиной до 80 – 90 мкм, имеющие микротвердость до 4300 HV_{0,1} на Т5К10 и 2400 HV_{0,1} на ВК8 при исходной твердости этих материалов 1650–1740 HV_{0,1}.
2. Разработанные технологические решения и составы насыщающих сред позволяют получать диффузионные покрытия с высокими эксплуатационными свойствами. Разработанные технологии обеспечивают повышение поверхностной твердости при одновременном комплексном насыщении бором, хромом и титаном: на углеродистой стали (стали типа Ст3, сталь 45) – до 2200–2500 HV₁, на легированных сталях (стали типа 5ХНВМФ, 7ХГ2ВМФ) – до 2400–2900 HV₁, на высоколегированных сталях (стали типа Р6М5, Х12М) – до 2700–3200 HV₁.
3. Упрочненные по разработанным способам изделия внедрены на промышленных предприятиях Алтайского края (ООО «МОКВИН», ООО «Алтайский завод прецизионных изделий», ООО «РАКУРС», ООО «СВЭЛ», ООО «Вектор»), Новосибирской области (ПАО «Новосибирский завод химконцентратов»), Республики Бурятия (ООО «Теплоарматура»), Вологодской области (завод «Северсталь-метиз», ПАО «Северсталь», г. Череповец.). Практическая реализация результатов работы на предприятиях Алтайского края отмечена Премией Алтайского края в области науки и техники за 2014 год (проект «Разработка насыщенных сред и технологий диффузионного поверхностного упрочнения стальных изделий бором, хромом и титаном») и 2018 год (проект «Разработка насыщающих сред на основе бора и технологий одновременного трехкомпонентного диффузионного поверхностного упрочнения стальных изделий»).

5. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Основные положения диссертационной работы достаточно полно отражены в автореферате. Он содержит все научные положения, изложенные в диссертации и в полной мере раскрывает ее суть.

6. Общие замечания по диссертационной работе

1. В работе не указано, какие составы рекомендованы для диффузионного упрочнения титановых сплавов и твердых сплавов типа ВК, хотя для сталей такие ре-

комендации относительно составов насыщающих смесей и режимов насыщения даны.

2. Высоколегированные стали типа X12M, P6M5 и им подобные имеют температуру закалки от 1000 до 1150 °С. Автор в своей работе указывает, что при температурах 1150 °С и выше возможно оплавление диффузионного слоя. Какое решение в этом случае предлагает автор?

3. Насыщающие среды для борирования, обычно приводимые в литературе, для предотвращения спекания содержат Al_2O_3 либо каолин. Автор диссертационной работы, вероятно, в этих же целях использует в своих смесях графит. Если это так, то какова роль графита и какой марки графит добавлялся в смеси, приведенные в работе?

4. В работе не указаны ограничения, связанные с условиями эксплуатации и размерами упрочняемых деталей и инструмента, при которых применение предлагаемой технологии диффузионного насыщения бором, хромом и титаном становится нецелесообразным.

5. В автореферате и диссертации на рисунках не всегда указан статистический разброс, который бы подтверждал правомочность построения зависимостей.

6. При анализе особенностей химико-термической обработки, указаны только достоинства этих покрытий. При этом нет анализа недостатков, типичных для высокотемпературных процессов химико-термической обработки (налипание насыщающей смеси к упрочняемой поверхности, закалочные трещины в покрытии). Какие меры применяются для устранения этих недостатков?

7. Заключение

Диссертация Иванова С.Г. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, применение которых в производстве вносит значительный вклад в развитие машиностроительной и обрабатывающей отраслей производства страны.

Полученные автором результаты достоверны и непротиворечивы, выводы обоснованы. Содержание автореферата в полной мере соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация соответствует паспорту заявленной специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» по п.п. 2, 4, 6.

Считаю, что диссертационная работа «Развитие теоретических и технологических основ химико-термической обработки сталей и сплавов с применением совмещенного диффузионного насыщения бором, хромом и титаном» по научной новизне, практической значимости и объему проведенных исследований, соответствует критериям, прописанным в пунктах 9-14 «Положения о порядке присуждения

ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Иванов Сергей Геннадьевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент:

Проректор по научной работе и инновациям
ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный
университет технологий и управления»
д.т.н. (05.16.01), профессор

Сизов И.Г.

Подпись И.Г. Сизова заверяю
Начальник Управления кадров

Калашникова И.Э.

Адрес: 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, д.40В, строение 1.
телефон +7 (3012)43-14-17, e-mail: sigperlit@mail.ru

Я, Сизов Игорь Геннадьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Иванова Сергея Геннадьевича, и их дальнейшую обработку.

09.01.2020