



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Алтайский государственный университет»

пр-т Ленина, 61, г. Барнаул, 656049
Тел. (385-2) 291-291. Факс (385-2) 66-76-26
E-mail: rector@asu.ru

ОГРН 1022201770106 ИНН 2225004738/КПП 222501001
л/с 20176U88990 ОКПО 02067818
р/с 40501810401732000002 в ОТДЕЛЕНИЕ БАРНАУЛ г. Барнаул
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»
БИК 04 0173001

на № 03.02.2020 от № 10-2.21/05/538

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научному и
инновационному развитию ФГБОУ

ВО «Алтайский государственный
университет» д.с.н., профессор

Максимова С.Г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Иванова Сергея Геннадьевича

«Развитие теоретических и технологических основ химико-термической обработки сталей
и сплавов с применением совмещенного диффузионного насыщения бором, хромом и
титаном», представленную на соискание

ученой степени доктора технических наук по специальности

05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность диссертации

Решение проблемы повышения износостойкости рабочих органов, узлов, агрегатов, рабочих органов машин и инструмента определяется наличием материалов, работоспособных в сложных условиях: износ в условиях повышенных температур, в присутствии агрессивных сред и т.д. Улучшение эксплуатационных свойств материалов возможно как путем применения различных материалов, имеющих высокие показатели прочности, пластичности, износо- и коррозионной стойкости, так и более прогрессивным способом – путем нанесения различных покрытий, придающих упрочняемым изделиям требуемые эксплуатационные свойства. Одним из относительно простых способов нанесения покрытий, отлично встраивающихся в технологическую цепочку производства, является химико-термическая обработка.

Диссертантом были проведены исследования, согласующихся с перечнем критических технологий РФ «Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов» и приоритетным направлением «Индустрия наносистем». Проведенные исследования были поддержаны различными грантами федерального (задания Минобрнауки РФ №№ №2014/885, 11.1085.2017/4.6-ПЧ, Грант Президента РФ для молодых кандидатов наук 2014 (№14.Z56.14.656-МК), регионального (Грант РФФИ «Сибирь_а» Проект

№ 13-08-98107 на 2013–2014гг.) и муниципального (грант Администрации г. Барнаула «Исследование диффузионных покрытий на сталях, полученных вакуумной химико-термической обработкой» 2012 – 2013гг.) уровня.

Научная новизна полученных результатов

В результате выполнения научных исследований автором диссертационной работы получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

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. Установлено, что образование атомов бора при разложении карбида бора возможно и термодинамически выгодно в присутствии кислорода. При температурах, более 920 °С активируются реакции образования атомов хрома и титана, происходящие также с участием кислорода.

4. Методом рентгеновской дифрактометрии установлено, что при одновременном насыщении железоуглеродистых сплавов бором, хромом и титаном, на углеродистых сталях диффузионные покрытия содержат высокобористую (Fe_2B) и низкобористую (Fe_3B) 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 .

5. 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 $\text{HV}_{0,1}$.

6. 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 $\text{HV}_{0,1}$ на Т5К10 и 2400 $\text{HV}_{0,1}$ на ВК8 при исходной твердости этих материалов 1650–1740 $\text{HV}_{0,1}$.

Практическая значимость

На основе проведенных теоретических и экспериментальных изысканий автором диссертации получены следующие результаты, имеющие практическое значение, в частности:

1. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологические решения по упрочнению сталей и сплавов методами химико-термической обработки, обеспечивающие повышение ресурса работы упрочненных изделий в 2 – 50 раз. Разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать толщину комплексных бор-хром-титановых диффузионных покрытий на сталях, определять основные технологические параметры процесса насыщения с целью получения диффузионного слоя с требуемой толщиной и фазовым составом.

2. Разработанные технологические решения и составы насыщающих сред позволяют получать диффузионные покрытия с высокими эксплуатационными свойствами:

- для одновременного бор-хром-титанирования углеродистых и легированных сталей с содержанием углерода до 0,4 масс. % разработан состав, содержащий бориды хрома и титана, карбид бора в качестве основных компонентов-поставщиков активных атомов бора, хрома и титана;

- для углеродистых и легированных сталей с содержанием углерода свыше 0,4 масс. % разработан состав, основными поставщиками активных атомов бора, хрома и титана в котором являются карбид бора, феррохром и ферротитан.

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. Разработанные составы и технологии химико-термической обработки защищены 10 патентами РФ на изобретения.

3. Методами совмещенного диффузионного насыщения бором, хромом и титаном из твердофазных насыщающих сред (порошковым и из насыщающих обмазок) получены упрочняющие покрытия на титановых сплавах ВТ1-0 и ОТ-4, имеющие протяженность до 75 мкм. Насыщение титановых сплавов из порошковых сред и насыщающих обмазок более технологичны, а также не требуют специальных инертных атмосфер из аргона, либо криптона в сравнении с борированием из расплавов.

4. На спеченных сплавах с кобальтовой связкой ВК8 и Т5К10, используемых для производства металлорежущего инструмента, способом комплексного бор-хром-титанирования получены диффузионные покрытия толщиной до 90 мкм, которые в 10–15 раз превышают толщину покрытий, получаемых другими способами диффузионного насыщения на материалах данных классов.

5. 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»).

6. Результаты работы используются в учебном процессе при подготовке магистров по направлению 22.04.01. «Материаловедение и технология материалов» и 15.04.05. «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», обучающихся по направлению «22.06.01 Технологии материалов» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

Оценка достоверности результатов диссертационной работы

Достоверность и обоснованность результатов обеспечивается объемом полученных в ходе работы экспериментальных данных; сопоставлением и непротиворечивостью оригинальных теоретических и экспериментальных результатов с данными, полученными другими исследователями, имеющимися в литературе; высокой воспроизводимостью разработанных технологических приемов в лабораторных и производственных условиях при проведении работ по комплексному бор-хром-титанированию деталей машин, оснастки и инструмента; корреляцией результатов лабораторных и промышленных испытаний упрочняющих комплексных покрытий, полученных одновременным бор-хром-титанированием, подтвержденных актами промышленных испытаний и внедрением в производство. Дополнительно достоверность результатов косвенно подтверждается практическим применением на предприятиях, отмеченным наградами Алтайского края.

Общая характеристика диссертации

Диссертационная работа является логичным продолжением разработок, осуществленных в кандидатской диссертации автора, о чем свидетельствует достаточно длительный период апробации работы в виде докладов на конференциях различного уровня с 2005 г. по настоящее время.

Основное содержание работы опубликовано в 195 работах, в том числе в 3 коллективных монографиях, 74 статьях в журналах из перечня ВАК, 9 статьях, индексируемых в наукометрических базах Web of Science и Scopus, 10 патентах РФ на изобретение.

Диссертационная работа по своим целям, задачам, методам исследования, научной новизне и содержанию соответствует паспорту научной специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» по п.п. 2, 4, 6.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, выводов по работе, приложений. Работа изложена на 356 страницах машинописного текста, содержит 165 рисунков, 31 таблицу,

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе автор анализирует последовательность этапов химико-термических процессов насыщения поверхностных слоев матрицы упрочняющими фазами: «Для протекания любого ХТО в реакционной системе «изделие-насыщающая среда» протекают определенные реакции, приводящие к массопереносу активированных атомов в пределах системы» и далее на стадии 1 утверждает «перенос диффундирующего элемента в объеме насыщающей среды осуществляется обычно через газовую фазу, причем механизм переноса не зависит от того, находится насыщающая среда в твердом либо газообразном состоянии». Остается не ясным, какие соединения бора и водорода образуются на этой стадии для осуществления переноса диффундирующего элемента (то есть бора).

2. На стадии 4 автор анализирует условия диффузионного массопереноса активного элемента в металлической матрице, указывая возможные механизмы диффузии - диффузия по междоузлиям или диффузия по узлам (очевидно атом-вакансионный механизм). Однако в 3 главе автор утверждает: «Анализ механизмов диффузии показал, что бор не может образовывать растворы внедрения и замещения». Каков в таком случае механизм диффузионного переноса бора в металлической матрице?

3. Анализируя механизмы диффузии бора в железе в 3 главе автор исключает механизмы диффузии атом-вакансионный, кольцевой, краудинный и утверждает, что механизм диффузии бора - по границам раздела, в том числе, по границам фаз. Однако серьезных экспериментальных аргументов в пользу диффузии по границам раздела не приводит. Таким образом механизм диффузии бора по границам раздела можно принять как гипотезу.

4. В качестве механических свойств в работе приведены результаты измерения микротвердости покрытий и основного металла. Известно, что высокопрочные боридные слои, обладая высокой износостойкостью, обычно существенно снижают ударную вязкость и усталостную трещиностойкость материала. Хотелось бы знать влияние химико-термической обработки на вышеуказанные характеристики.

5. В работе, на некоторых снимках микроструктуры диффузионных покрытий, очевидно, что при проведении химико-термической обработки образуется структура видманштеттова феррита, характеризующая низкими показателями механических свойств. Автор не указывает методы исправления этой структуры.

6. Не понятен смысл применения двухслойной обмазки в эксперименте по определению адсорбции.

7. В диссертации присутствуют стилистические неточности, например, «...Структура, полученная методом ... микроскопии...». Методами микроскопии структуру можно наблюдать, а не получать. Или распределение концентраций в диффузионном покрытии... Распределение концентраций чего?

Заключение

Рассматриваемая диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся значимые сведения о процессах многокомпонентного насыщения сталей и сплавов одновременно бором, хромом и титаном, имеющие как научное, так и практическое значение.

Автореферат диссертации и опубликованные работы полностью отражают основные положения диссертации.

Несмотря на отмеченные недостатки, рассмотренная диссертационная работа выполнена на высоком уровне и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, представляемым на соискание ученой степени доктора технических наук, в соответствии с пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», автор рассматриваемой диссертации, Иванов С.Г., заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертация и автореферат обсуждались на заседании кафедры «Общая и экспериментальная физика» ФБГОУ ВО «Алтайский государственный университет», протокол № 6 от 30 января 2020 г. и получили положительную оценку.

Заведующий кафедрой
общей и экспериментальной физики,
доктор физ.-мат. наук, профессор

Владимир Александрович Плотников

Адрес: пр. Ленина 61, 656049, Барнаул, Россия

Телефон: (8-3852) 350968, E-mail: plotnikov@phys.asu.ru

Подпись Плотникова В.А. и его
контактную информацию удостоверяю:
Начальник управления кадров ФБГОУ ВО
«Алтайский государственный университет»



Трушников А.Н.