ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Быковой Татьяны Михайловны

«Влияние химического состава стали на структуру и свойства диффузионных боридных покрытий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

1. **Актуальность темы исследований.** Диссертационная работа Быковой Т.М. направлена на решение актуальной проблемы – изучение влияния легирующих элементов основы на строение и свойства диффузионных боридных покрытий. В работе рассмотрены отличительные особенности строения и защитных свойств таких покрытий на разных марках сталей. Установлено, что характер влияния элемента основы на химический и фазовый состав диффузионных боридных покрытий определяется его растворимостью в боридах железа. Хорошо растворимый в боридах FeB и Fe_2B хром повышает способность покрытия пластически деформироваться в условиях сухого трения. Нерастворимые в боридах элементы оттесняются на границу с основой, тормозя диффузионные процессы и формируя переходный слой с дисперсными боридами тугоплавких элементов в мягкой прослойке кремнистого феррита. Такое строение покрытия обеспечивает однородное распределение значений контактного нормального модуля упругости, повышает стойкость защитного слоя в условиях термоциклирования и линейный износ. Актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

2. **Научная новизна диссертации** характеризуется следующими полученными результатами:

- Определены фазовый и химический составы и микромеханические свойства отдельных зон диффузионных боридных покрытий на сталях разного химического состава.
- Изучено влияние толщины диффузионных боридных покрытий на изменение ряда электрических и магнитных свойств образцов из стали 4Х5МФС.
- Установлена взаимосвязь между составом боридного покрытия и его термостойкостью, износостойкостью, диффузионной стабильностью.

3. **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** Изложенные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации аргументировано и обоснованно базируются на теоретических основах материаловедения. Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных методов и приборов для исследования фазового состава, структуры и свойств.

4. **Научная и практическая значимость.** Полученные в диссертационном исследовании результаты расширяют существующие представлений о механизмах формирования и свойствах диффузионных боридных покрытий. Показана возможность существенного повышения стойкости диффузионных боридных покрытий в условиях термоциклирования и износа за счет их легирования хромом и кремнием из стали-основы.

Практическая значимость работы. Результаты работы используются на предприятии АО «Уралтрансмаш» (г. Екатеринбург). Разработана технологическая

инструкция диффузионного борирования ряда деталей, используемых в производственном процессе.

5. Анализ содержания диссертации. Диссертация изложена на 164 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения и 4-х приложений. Она содержит 57 рисунков и 13 таблиц. Список цитируемой литературы включает 150 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, приведены цель и задачи работы, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** выполнен аналитический обзор литературных источников по теме диссертации. Представлены результаты выполненных ранее исследований по изучению кинетики образования борированного слоя и механизмов его формирования. На основании проведенного анализа обоснованно сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена описанию исследуемых материалов, применяемого оборудования и использованных методик.

Третья глава посвящена исследованию структуры, химического и фазового составов, микромеханических и электромагнитных свойств диффузионных боридных покрытий на сталях разного химического состава. Показано схематичное строение градиентных боридных покрытий. Предложен новый подход, который определяется характером распределения химических элементов по толщине покрытий на сталях разного химического состава. В соответствие с химическим и фазовым составом разных слоев покрытия меняются их свойства: микротвердость, модуль Юнга и условный показатель пластичности. Показано, что в качестве параметра неразрушающего контроля толщины боридных покрытий может быть использовано значение удельного электросопротивления и значения максимальной магнитной проницаемости.

В **четвертой главе** приведены результаты испытаний на термоциклирование. Исследован характер деградации структуры диффузионных боридных покрытий на углеродистой стали марки Ст3 и штамповой стали 4Х5МФС при термоциклировании под нагрузкой в атмосфере азота, водорода и на воздухе. Автором экспериментально выявлена определяющая роль окислительных процессов на границе «сталь-покрытие» в разрушении боридных покрытий при термоциклировании на воздухе и положительная роль легирования покрытий хромом из стали-основы с точки зрения образования защитной тонкой оксидной пленки Cr_2O_3.

В **пятой главе** приведены исследования влияния химического состава стали-основы на трибологические свойства диффузионных боридных покрытий, в том числе на механизмы их деградации. Оценены трибологические свойства боридных покрытий, испытанных по схемам «вал-пластина» и «вал – втулка». Показано, что легирование диффузионного боридного покрытия хромом за счет стали-основы приводит к увеличению пластичности боридов железа. Это обуславливает отличия в характере разрушения боридных покрытий на штамповых хромосодержащих сталях от покрытий на углеродистых конструкционных сталях. Разработана технологическая инструкция процесса диффузионного борирования трибологической пары.

В **заключении** суммируются основные результаты диссертационной работы. Диссертация написана грамотно, материал достаточно полно и хорошо иллюстрирован.

6. Замечания. По работе имеется ряд замечаний.

1. При описании теоретической значимости работы автор обсуждает аспект рационального выбора марки стали для деталей штампового и режущего инструмента. Обычно методы поверхностной модификации адаптируют к тем или иным маркам сталей для тех или иных условий эксплуатации. В данном случае, получается, что выбор стали для изготовления изделий должен производиться из условий возможности формирования той или иной структуры при диффузионном борировании. Кроме того, боридные покрытия, в силу их хрупкости, не используются для изготовления режущего инструмента.

2. При разработке методов неразрушающего контроля толщины диффузионных покрытий автор пишет об «испытаниях электромагнитных свойств образцов». Данное словосочетание является в лучшем случае неудачным, поскольку свойства нельзя испытывать.

3. На рис. 3.2,в (стр. 56 текста диссертации) приведены данные о распределении химических элементов по сечению боридного «покрытия». Налицо скачкообразный характер изменения приведенных зависимостей, обусловленный как самой технологией диффузионного насыщения, так и неоднородностью формирующейся структуры. Следовало бы указать разброс анализируемого параметра, что позволило бы статистически оценить происходящие при борировании процессы. С другой стороны, имело смысл показать общий тренд, что могло пролить свет на связь изменения содержания различных химических элементов с вариацией микротвердости.

4. В разделе 3 при выборе электрических и магнитных характеристик, имеющих выраженную корреляцию с изменением толщины боридного «покрытия», автор остановился только на удельном электросопротивлении и дифференциальной магнитной проницаемости. К сожалению, количество точек на соответствующих корреляционных кривых крайне мало, а характер изменения обоих информативных параметров, постулируемый как «убывает» и «монотонно возрастает», имеет лишь качественный характер, причем во втором случае лишь на ограниченной толщине покрытия.

5. В работе иногда допускается вольное обращение с терминологией: «на поверхности покрытия образуются множественные «пузыри»», «отдельные зерна Fe_2B проникают в основу на глубину до 1 мм», «гетерогенный режим трения» и т. д.

6. По итогам выполнения работы сформулировано 11 заключений, что превышает количество, принятое даже в докторских диссертациях. Суть изложенного справедливо подводит итог проделанной работы, однако лишает данный раздел изящества и легкости восприятия.

Вместе с тем, высказанные замечания носят, скорее, частный характер, и не затрагивают сути основных выводов и положений, выносимых на защиту оппонируемой диссертационной работы.

7. **Оформление диссертации.** Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Материал диссертации изложен последовательно и логично грамотным техническим языком. **Автореферат** диссертации соответствует её содержанию.

8. **Публикации по работе.** Основные результаты диссертации опубликованы в 13 печатных трудах, из которых 4 опубликованы в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ. Все публикации соответствуют теме диссертации.

9. Заключение. По актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверности и новизне, а также значимости для науки и практики диссертация Т.М. Быковой соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также П. 9 «Положения о присвоении ученых степеней ВАК Минобразования РФ», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 . Она является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором системных исследований получены результаты, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. При этом решена научная проблема, имеющая важное значение для развития методов химико-термической обработки сталей, а именно диффузионного борирования. Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует паспорту специальности 05.16.09. Автор диссертации Т.М. Быкова заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.19 – Материаловедение (машиностроение).

На обработку персональных данных согласен.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор С.В. Панин
08.11.16

Панин Сергей Викторович,
ученая степень: доктор технических наук,
шифр научной специальности: 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела,
ученое звание: профессор по специальности, профессор РАН
должность: заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН),
адрес: 634055, г. Томск, пр-т Академический, д. 2/4,
Телефон: +7 (3822) 49-18-81,
E-mail: root@ispms.tomsk.ru

подпись С.В. Панина заверяю
Ученый секретарь ИФПМ СО РАН,
доктор технических наук, доцент В.С. Плешанов