

ОТЗЫВ

официального оппонента Будовских Евгения Александровича о диссертации Шевчук Евгении Петровны на тему: «Формирование боридных упрочняющих покрытий с обширной диффузионной зоной на углеродистой стали», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния»

Актуальность темы диссертации, посвященной исследованию процессов формирования структурно-фазового состояния диффузионной зоны при борировании низкоуглеродистой стали 20, основана на том, что бориды железа обладают комплексом свойств (тугоплавкость, высокая твердость, химическая стойкость в агрессивных средах и др.), а сама технология – большими перспективами практического применения. Большое внимание в работе уделено расчету составов борсодержащей шихты и разработке методов интенсификации ее химико-термической поверхности стали.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации определяется анализом совокупности полученных экспериментальных результатов определения микротвердости, структуры и фазового состава сформированных поверхностных слоев, а также аналитическими расчетами коэффициентов диффузии и глубины диффузионной зоны.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием современных средств металлографического анализа, сравнением полученных результатов между собой и с результатами других авторов, анализом результатов с использованием апробированных теоретических представлений.

Научная новизна. В работе разработан метод интенсификации диффузионных процессов при борировании стали 20 путем обработки индукционными токами при температуре 1000 °С обмазки из легкоразлагаемой борсодержащей шихты, обеспечивающий в течение 5, 10 и 15 мин формирование диффузионной зоны глубиной 660–1000 мкм и содержащей преимущественно бориды FeB и Fe₂B, распределенные в α-матрице.

Установлено, что распределение боридов по глубине при формировании обширной диффузионной зоны осуществляется по схеме: FeB → Fe₂B → (α-фаза + B) → металл основы.

Показано, что при использовании шихты с добавкой жидкого стекла распределение бора в диффузионной зоне имеет максимум в интервале 150–200 мкм, а максимум распределения кремния на глубине около 600 мкм.

Установлено, что при индукционном борировании коэффициент диффузии бора составляет $1,6 \cdot 10^{-9}$ м²/с, что на два порядка выше, чем при традиционном борировании.

Установлено, что оптимальный состав борсодержащей шихты содержит 25 % порошкового железа и 75 % борной кислоты. Малые добавки аммиака и жидкого стекла увеличивают возможность образования боридов железа.

Показано, что в условиях индукционного воздействия формируется структура диффузионной зоны, включающая высокопрочный слой боридов FeB или Fe₂B толщиной от 30 до 65 мкм и нижележащий слой, состоящий из пластичной α-фазы матрицы, упрочненной боридными фазами.

Установлено, что введение в область микродугового воздействия борсодержащей шихты также сопровождается формированием обширной диффузионной зоны с преимущественным содержанием боридов Fe₃B. Максимальная микротвердость по ее сечению достигает 3700 МПа.

Насыщение поверхностного слоя углеродистой стали при 1000 °С из шихты, содержащей легкоразлагаемую борную кислоту, в индукционной печи или в ходе микродугового борирования осуществляется за счет аномально высокого диффузионного массопереноса бора в металлическую матрицу, обеспечивающее формирование обширной диффузионной зоны глубиной 900–1000 мкм.

Распределение бора в диффузионной зоне коррелирует с распределением микротвердости.

Практическая значимость исследований заключается в разработке оптимального состава шихты, состоящей из 25 % Fe, 75 % H₃BO₃, малых добавок аммиака, жидкого стекла и угля, что позволяет в течение 5 мин сформировать диффузионную зону глубиной до 1 мм, упрочненную боридными фазами железа.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Полученные результаты дают основу для реализации приведенных в работе методов борирования с применением рассчитанных автором паст для борирования для повышения эксплуатационной стойкости изделий из низкоуглеродистых сталей.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация Е.П. Шевчук состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, степень разработанности темы исследования, сформулированы цель и основные задачи работы, характеризуется степень новизны полученных результатов, практическая значимость работы, методология и методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе приведен анализ диффузионных процессов в бинарных системах, механизмов и законов диффузии, кинетики диффузии и особенностей образования боридов железа, а также перспектив использования диффузионного борирования. Сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена описанию особенностей методов борирования, использованных материалов, оборудования и способов борирования поверхностных слоев стали, методик проведения экспериментов с применением нагрева в индукционной печи, микродугового борирования, отжига в муфельной печи, а также методик определения микротвердости, проведения

рентгеноструктурного анализа, определения микроструктуры модифицированных поверхностных слоев методами световой и растровой электронной микроскопии исследуемых материалов. Приведен расчет шихты и паст для борирования, рассмотрен выбор компонентов состава обмазок, произведен расчет количества составляющих, выявлены преимущества выбора обмазки.

В третьей главе представлены результаты исследований распределения микротвердости по глубине, рентгеноструктурного и рентгенофазового анализов, анализа микроструктуры поверхностных слоев методами световой и растровой электронной микроскопии, расчетов коэффициентов диффузии и размеров диффузионной зоны, полученной борированием в условиях индукционного нагрева, нагрева в муфельной печи и методом микродугового борирования. Сформулированы модельные представления о формировании обширной диффузионной зоны.

В целом диссертация Е.П. Шевчук является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач, объединенных общим подходом, обеспечивающим формирование упрочняющих боридных покрытий с обширной диффузионной зоной на стали.

Замечания по работе. 1. Исследования выполнены только на одной низкоуглеродистой стали 20. При этом в названии и в тексте диссертации используется более широкий термин углеродистая сталь. В связи с этим возникают вопросы, могут ли быть использованы полученные результаты для упрочняющей обработки сталей других марок, какие перспективы открывает выполненная работа как для дальнейших исследований, так и практического применения.

2. Согласно ГОСТ Р 7.0.11-2011 диссертация должна содержать список литературы. В диссертации соискателя приведен «список источников и литературы». При этом в списке из 190 наименований 33 опубликованы в 50–80-е годы, то есть являются устаревшими и труднодоступными, а 27 – это ссылки на анонимные электронные ресурсы (по-видимому именно они названы источниками). Ссылка 96 – это ссылка на патент без названия и указания авторов. Ссылки на патенты автора в автореферате приведены без их названий.

3. Сам текст диссертации содержит многочисленные орфографические и пунктуационные ошибки.

Сделанные замечания не снижают значимости полученных результатов и поэтому не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Е.П. Шевчук.

Основные результаты диссертации опубликованы в 22-х научных работах. В их числе 11 научных статей опубликованы в рецензируемых журналах из Перечня ВАК, одна статья – в журнале, индексируемом наукометрическими базами Web of Science и Scopus, по результатам исследований получены два патента на изобретения.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации и результаты проведенных исследований.

Заключение. Диссертационное работа Шевчук Евгении Петровны «Формирование боридных упрочняющих покрытий с обширной диффузионной зоной на углеродистой стали» является законченным научным исследованием. По своим целям, задачам, методам исследования, содержанию и научной новизне она соответствует пунктам 6 и 7 паспорта специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния» и требованиям пунктов 9, 11 и 13 Положения о порядке присуждения ученых степеней. В связи с этим автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния» (отрасль науки –технические).

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Профессор-консультант
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
доктор технических наук,
доцент,
научная специальность
01.04.07. «Физика конденсированного состояния»

Е.А. Будовских

Подпись д.т.н., доцента, профессора-консультанта Е.А. Будовских заверяю.

Анна Ивановна Сидорова
кадров



Т.А. Мерзлякова