

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук

Ушакова Анатолия Васильевича

на диссертацию Ефимовой Ксении Александровны *«Исследование и технологическая реализация процессов боридообразования при плазмометаллургической переработке титан-борсодержащего сырья»*, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью разработки технологии, которая способна обеспечить получение диборида титана в нанокристаллическом состоянии и, как следствие, достижение у него новых свойств, значительно расширяющих сферы его эффективного применения, в частности, в технологиях защиты от коррозии стальных и углеродсодержащих изделий. Разработка плазмометаллургических процессов получения порошков, соответствующих новому уровню требований, и их внедрение в производственную практику является актуальной задачей, соответствующей стратегическим целям государственной научно-технической политики, и имеющей большое народно-хозяйственное значение. Поскольку традиционные технологические решения не обеспечивают получение наноборидов, а физико-химические закономерности боридообразования, технологические условия формирования и свойства наноразмерных боридсодержащих систем изучены недостаточно, рассмотренная в диссертации проблематика в научном и прикладном отношениях представляется весьма актуальной.

Наиболее значимые результаты диссертации.

Результаты моделирования теплообмена плазменного и сырьевого потоков и термодинамического анализа высокотемпературных взаимодействий в боридообразующих системах, подтвердившие принципиальную возможность реализации в условиях плазменного потока трех технологических вариантов получения диборида титана. Это позволило

диссертанту провести прогнозное сравнение технологических условий и показателей исследуемых технологических вариантов и выбрать наиболее перспективные – борирование титана ($Ti+B+H_2$) и борирование продуктов восстановления его диоксида (TiO_2+B+CH_4).

Графические зависимости содержания диборида титана от основных факторов – начальной температуры плазменного потока, температуры закалки, содержания бора в шихте, концентрации водорода в плазмообразующем газе и количестве восстановителя.

Комплексная физико-химическая аттестация диборида титана. Отдельное внимание уделяется окисленности и термоокислительной устойчивости, это объясняется высокой химической активностью нанокристаллических материалов.

Комплексная модель боридообразования для выполнения многовариантных исследовательских и инженерных расчетов эффективной плазмометаллургической переработки различных видов титан-борсодержащего сырья, промпродуктов и отходов, технологический процесс получения диборида титана, опробованный в промышленных условиях, технические решения и предложения по применению его в составе композиционных покрытий $Ni-TiB_2$ и $TiB_2-Al_2O_3$.

Новыми научными результатами, полученными автором, являются:

Закономерности изменения с температурой составов газообразных и конденсированных продуктов боридообразования, условия эффективной газификации порошкообразного титан-борсодержащего сырья (дисперсность, температура, время, массовая расходная концентрация), условия образования TiB_2 в различных реакционных средах (соотношение компонентов, температура, состав газовой фазы, степень превращения титан-борсодержащего сырья в TiB_2).

Рациональные составы и дисперсность титан-борсодержащих шихт, составы и начальная температура газа-теплоносителя, температура закалки продуктов боридообразования, обеспечивающие получение диборида титана

с содержанием TiB_2 92,0 – 93,0 %. Для исследуемых технологических вариантов получены уравнения, описывающие зависимости содержания TiB_2 от основных технологических факторов: соотношения реагентов, состава газа-теплоносителя, температур.

Выбор наиболее перспективных вариантов получения TiB_2 – борирование титана и продуктов восстановления его диоксида метаном, технико-экономическая целесообразность их исследования и технологической реализации.

Особенности и механизм боридообразования в условиях плазменного потока.

Достоверность полученных результатов подтверждается качественным и количественным согласованием результатов теоретических исследований с проведенными экспериментальными исследованиями. В работе использованы известные методы моделирования взаимодействия плазменного и сырьевого потоков, экспериментального исследования высокотемпературных и высокоскоростных металлургических процессов и математического планирования экспериментов. Для проведения исследования полученных порошков и покрытий использованы современные методы изучения физико-химических характеристик материалов.

Проведено в производственных условиях ООО «Полимет» в плазмометаллургическом трехструйном вертикальном прямоточном реакторе мощностью 150 кВт опробование и подтверждение достоверности технологических режимов получения диборида титана. Разработано на основании результатов исследования техническое предложение для ООО «Инженерно-технологический центр ОК «РУСАЛ», включающее комплекс оборудования на основе трехструйного плазмометаллургического реактора и технологический процесс получения диборида титана в объеме 52 т/год для защитных покрытий катодов алюминиевых электролизеров.

Таким образом, диссертация Ефимовой К.А. представляет собой законченное исследование, результаты которого имеют научную и

практическую ценность.

Основные положения и результаты диссертации Ефимовой К.А. в достаточной степени изложены в научно-технических изданиях и обсуждены на 9 международных и всероссийских научно-практических конференциях. По результатам выполненных исследований опубликована 21 научная работа, из них 4 - в изданиях, рекомендованных ВАК.

Автореферат достаточно полно раскрывает содержание, отражает структуру диссертационной работы и полностью соответствует основным положениям диссертации.

Вместе с тем по диссертации имеются следующие **вопросы и замечания**:

- В тексте диссертации неоднократно упоминаются термин «среднемассовая температура» и ее значение, равное 5400 К. Что означает этот термин, как определялась данная температура?

- На страницах 54, 68, 104, 121 диссертации говорится о турбулентном режиме течения формирующегося плазменного потока, однако теоретические или экспериментальные подтверждения не приведены.

- В работе исследовались процессы, протекающие в потоках азотной и азотноводородной низкотемпературной плазмы. Почему не рассматривается вариант водородной или аргоновой плазмы? Конструкция плазмотронов допускает использование таких плазмообразующих сред.

- Имеются ли в настоящее время в России научно-технические задачи, требующие для своего решения диборид титана в значительных количествах, например, свыше 5 тонн?

- На стр. 130 диссертации приведено сопоставление цен на нанокристаллический диборид титана, заявляемых зарубежными производителями и достигнутых в предлагаемой диссертантом технологии. Неясно, за счет чего достигнуто существенное снижение цены.

Несмотря на приведённые замечания, диссертация Ефимовой К.А. является завершённой научно-исследовательской работой, в результате

которой на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная проблема, имеющая важное отраслевое значение, и созданы научные и технологические основы плазмометаллургического производства диборида титана.

Заключение. Считаю, что диссертация Ефимовой К.А. «Исследование и технологическая реализация процессов боридообразования при плазмометаллургической переработке титан-борсодержащего сырья» является завершенной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г., № 842 и другим требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ефимова Ксения Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»

Старший научный сотрудник лаборатории
нанодисперсных и композиционных материалов
доктор технических наук, доцент

Ушаков Анатолий Васильевич

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50
Тел.: +7 (391) 206-29-44,
e-mail: sfu-unesco@mail.ru

Подпись старшего научного сотрудника Ушакова А.В. заверяю
Ученый секретарь ФГБНУ «ФИЦ КНЦ СО РАН» Шкуряев П.Г.
«08» ноября 2017 г.



Шкуряев