

УДК: 621.382.66.533.924

DOI 10.18101/2306-2363-2018-2-3-69-73

СИНТЕЗ БОРИДОВ ЖЕЛЕЗА В ВАКУУМЕ ИЗ РЕАКЦИОННЫХ ОБМАЗОК ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

© Дашеев Доржо Эрдэмович

научный сотрудник,

Институт физического материаловедения СО РАН

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

E-mail: fokter@mail.ru

© Смирнягина Наталья Назаровна

доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник,

Институт физического материаловедения СО РАН

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

E-mail: smirnyagina09@mail.ru

Работа проведена с целью разработки новых методов получения упрочняющих покрытий на основе боридов железа. Основная цель работы заключается в моделировании синтеза боридов железа из реакционных обмазок на углеродистых сталях. С помощью программы Тегга выполнили термодинамическое моделирование в диапазоне 373–1873 К для общего давления в системе в диапазоне 10^5 – 10^{-3} Па. Определены оптимальные условия для синтеза, в частности температуры образования при различных давлениях в камере. Установлена последовательность химических превращений, протекающих при синтезе боридов, а именно, «оксиды → карбиды → низшие бориды → высшие бориды». Смоделированы термические свойства и характер диссоциации боридов Fe_2B и FeB в зависимости от общего давления в системе. Исследованы прочностные характеристики сформированных боридных слоев.

Ключевые слова: электронный пучок; реакционная обмазка; высокотемпературный синтез; термодинамическое моделирование; бориды железа; микротвердость; тепловые процессы.

Борирование поверхности металлов и сплавов улучшает прочностные свойства (прочность, износостойкость, твердость, пластичность, коррозионная стойкость и т.д.), что позволяет увеличивать срок службы и повысить надежность работы различных деталей машин и инструментов [1]. Борированию можно подвергать практически все сплавы на основе железа, но при этом следует учитывать, что химический состав борирующих компонентов существенно влияет на строение и глубину слоя [2]. Сопоставление свойств боридов со свойствами карбидов и нитридов показывает, что бориды обладают более высокими показателями твердости, стойкости против окисления при высоких температурах, а также износостойкости [3].

Существует множество методов и способов насыщения бором поверхностных слоев. В настоящее время все больший интерес вызывают электронные и плазменные методы как средство модификации структурных фазовых состояний и поверхностных прочностных свойств металлических материалов [4]. Одним из вариантов обработки электронным пучком является электронно-лучевое борирование. Для этой технологии характерно использование терморреагирующих по-

рошковых смесей, в которых возможна реализация самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [5] и процесс жидкофазного спекания с использованием продуктов синтеза. Электронный пучок используется и для иницирования СВС.

Работа направлена на описание электронно-лучевого борирования как метода упрочнения поверхности стали и термодинамическое моделирование процесса формирования слоев боридов железа в условиях вакуума.

Описание термодинамического моделирования

Термодинамическое моделирование в системе Fe-B-C-O₂ выполнено с использованием программного комплекса TERRA. Программа TERRA предназначена для расчета состава фаз, термодинамических и транспортных свойств произвольных систем с химическими и фазовыми превращениями. Расчеты проведены в температурном интервале 373–1873 К для общего давления в системе в диапазоне 10⁵–10⁻³ Па. Исследовали возможные взаимодействия с участием Fe, Fe₂O₃, B₂O₃, B, B₄C и C. В расчетах учитывали оксиды Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeO, B₂O₃, CO, CO₂; карбиды Fe₃C, B₄C и бориды Fe₂B, FeB. Определены поля кристаллизации сосуществующих фаз, а также влияние температуры и давления на их поведение (рис. 1). Исследованы фазовые равновесия в системе Fe₂O₃-B-C.

Установлено, что температура начала образования боридов Fe₂B и FeB зависит от общего давления в системе. Так, при давлении 10⁵ Па взаимодействие Fe₂O₃ с различными борлирующими компонентами (B₂O₃, B₄C, B) начинается при температурах 1500–1600 К, а при давлении 10⁻²–10⁻³ Па температура снижается до 800 К.

Установлено, что температура начала образования боридов Fe₂B и FeB зависит от общего давления в системе. Так, при давлении 10⁵ Па взаимодействие Fe₂O₃ с различными борлирующими компонентами (B₂O₃, B₄C, B) начинается при температурах 1500–1600 К, а при давлении 10⁻²–10⁻³ Па температура снижается до 800 К.

Результаты и их обсуждение

Эксперимент проводился по методике [6]. Рентгенофазовый анализ показал, что в сформированных слоях синтезированы бориды железа FeB и Fe₂B. Параметры кристаллических решеток: для FeB: α-Fe (метал. матрица) $a = 0,2868$ нм, α-Fe (кристаллы дендрита) $a = 0,2821$ нм; для Fe₂B: α-Fe (метал. матрица) $a = 0,2865$ нм, α-Fe (кристаллы дендрита) $a = 0,2859$ нм.

Исследование строения сформированных слоев подтвердило наплавленный характер формирования слоев на основе боридов железа. Микроструктура показывает характер кристаллизации боридного слоя. На фотографиях, сделанных с помощью микроскопа METAM PB-22 с программным комплексом NEXSYS Image Expert для обработки и анализа изображений, отчетливо видна граница между слоем и основой, а также наблюдается зона теплового воздействия электронного пучка. Толщина же всего слоя достигает 250 мкм.

Д. Э. Дашеев, Н. Н. Смирнягина. Синтез боридов железа в вакууме из реакционных образцов под воздействием электронного пучка

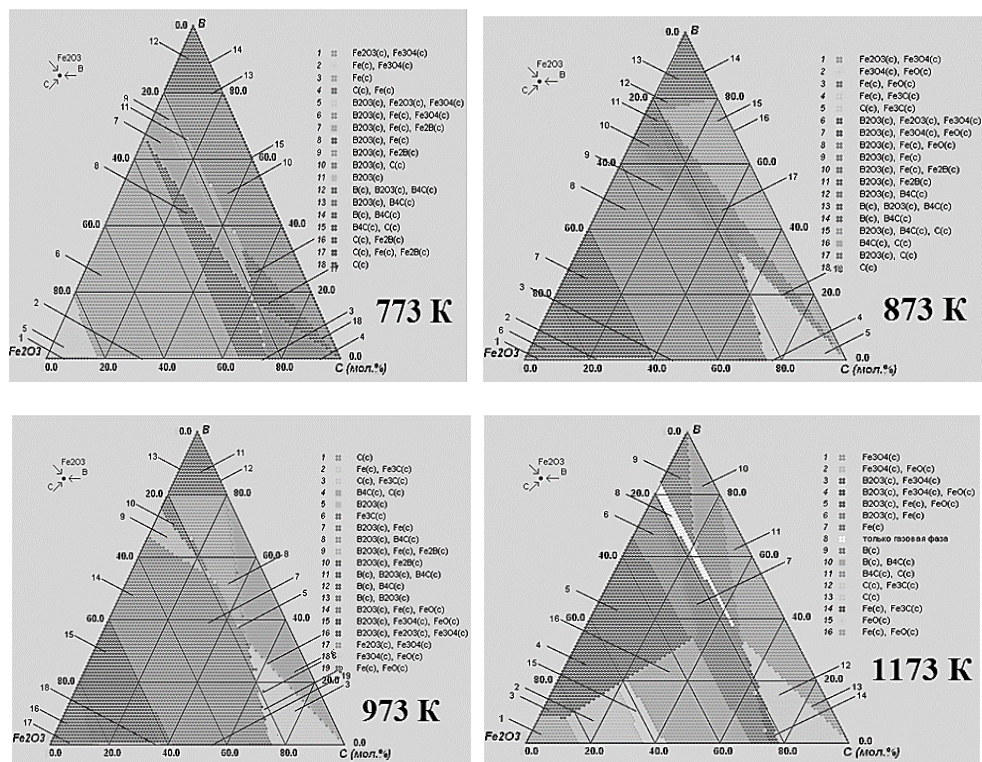


Рис. 1. Изотермические разрезы в системе Fe_2O_3 -B-C при давлении 10^{-3} Па

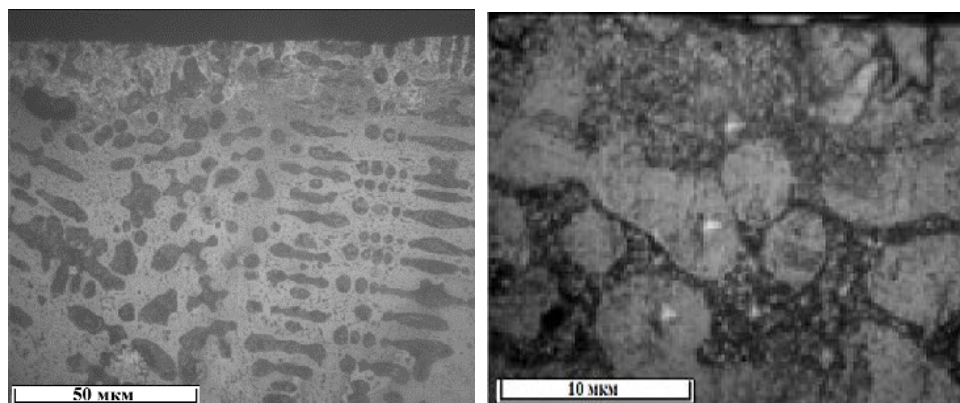


Рис. 2. Микроструктура сформированных боридных слоев Fe_2B из реакционных смесей Fe_2O_3 :3B:3C

Исследование микротвердости полученных слоев показывают, что наибольшей твердостью отличаются бориды Fe_2B , их микротвердость составляет в среднем 1200-1500 МПа. Микротвердость боридов Fe_2B — 1100-1300 МПа. Отдельные частицы, расположенные на поверхности слоя наиболее твердые, микротвердость которых достигает 3000-3500 МПа. Толщина этого слоя достигает 10 мкм (рис. 2). Микротвердость измеряли при помощи микротвердомера ПМТ-3 по

методу Виккерса. Исследование износостойкости выполнены на машине трения ЛТС. Износостойкость после обработки повысилась в 7-10 раз.

Представлен метод формирования боридов железа из реакционных обмазок с использованием электронного пучка как инициатора СВС. Проведен анализ тепловых процессов и рассмотрены фазовые равновесия в реакционных смесях, содержащих оксид железа Fe_2O_3 , бор и углерод. Установлены наиболее оптимальные условия формирования боридов железа в вакууме при давлении 10^{-3} Па. Температура образования фаз FeB и Fe_2B К при таком давлении снижается до 800 К. Также исследованы прочностные характеристики полученных слоев боридов железа, которые констатируют увеличение на порядок микротвердости, износостойкости.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института физического материаловедения СО РАН.

Литература

1. Дашеев Д. Э., Семенов А. П., Смирнягина Н. Н. Математическое моделирование и особенности электронно-лучевого борирования низкоуглеродистых сталей в вакууме // Химическая физика и мезоскопия. 2012. Т. 14, № 3. С. 417–421.
2. Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. М.: Машиностроение, 1980. 41 с.
3. Архаров В.И. Теория микролегирования сплавов. М.: Машиностроение, 1975. 61 с.
4. Kadyrzhanov K. K., Komarov F. F., Pogrebnyak A. D., Rusakov V. S., Turkebaev T. E. Ion-Beam and Ion-Plasma Modification of Materials. M: Moscow State University: Press, 2005. 640 p.
5. Мержанов А. Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. Черногловка: ИСМАН, 2002. 234 с.
6. Dasheev D. E., Smirnyagina N. N. Modeling of the electron-beam boriding in the system Fe-B-C-O₂ // J. of Physics Conference Series. 2017. V. 830. 012070.

SYNTHESIS OF IRON BORIDES IN VACUUM FROM REACTION COATINGS UNDER INFLUENCE OF ELECTRON BEAM

Dorzho E. Dasheev
researcher,
Institute of Physical Materials Science SB RAS
6 Sakhianovoy St., Ulan-Ude, 670047, Russia
E-mail:

Natalya N. Smirnyagina
Doctor of Technical Sciences, associate Professor, chief Researcher
Institute of Physical Materials Science SB RAS
6 Sakhianovoy St., Ulan-Ude, 670047, Russia
E-mail: smirnyagina09@mail.ru

The work was carried out with the aim of developing new methods to produce hard coatings based on iron borides. The main purpose of the work is to simulate the synthesis of iron borides from reaction coatings on carbon steels. With this program, Terra performed a thermodynamic simulation in the range of 373-1873 K for the total system pressure in the

Д. Э. Дашев, Н. Н. Смирнягина. Синтез боридов железа в вакууме из реакционных обмазок под воздействием электронного пучка

range of 10^5 - 10^{-3} PA. The optimal conditions for the synthesis, the formation temperature at different pressures in the chamber in particular are determined. The sequence of chemical transformations occurring in the synthesis of borides, namely, "oxides \rightarrow carbides \rightarrow lower borides \rightarrow higher borides", is established. Thermal properties and the character of Fe₂B and FeB borides dissociation depending on the total pressure in the system are simulated. The strength characteristics of the formed boride layers are investigated.

Keywords: electron beam; reaction coating; high-temperature synthesis; thermodynamic simulation; iron borides; microhardness; thermal processes.