

УДК: 621.382.66.533.924
DOI 10.18101/2306-2363-2018-2-3-50-54

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БОРИДОВ ВАНАДИЯ V_2O_5 НА ШТАМПОВОЙ СТАЛИ ХВГ ИНТЕНСИВНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ В ВАКУУМЕ

© **Милонов Александр Станиславович**
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Институт физического материаловедения СО РАН
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
E-mail: terwer81@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

© **Данжеев Бэликто Аюшеевич**
аспирант,
Институт физического материаловедения СО РАН
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
E-mail: bel.tunka@mail.ru

Исследованы и сопоставлены микроструктуры и микротвердость боридных слоев, сформированных на штамповой стали марки ХВГ электронно-лучевым борированием в вакууме. Сформированные слои обладают гетерогенной структурой, сочетающей твердые и пластичные компоненты, приводящие к уменьшению хрупкости боридного слоя. Анализ термодинамических расчетов с учетом взаимодействия примесей и металлической основы с реакционной смесью показывает, что необходим избыток бора. Моделирование позволило определить оптимальные условия взаимодействия реакционной смеси V_2O_5 :В:С с поверхностью углеродистой штамповой стали для образования композитного покрытия на глубину 5-150 мкм.

Ключевые слова: электронный пучок; сверхвысокие частоты; термодинамическое моделирование; бориды ванадия; микротвердость; борирование; композитные покрытия.

Введение

Долговечность инструмента зависит не только от свойств материала, определяемых технологией изготовления и объемного упрочнения, но и в значительной степени от свойств поверхности. Ее роль в обеспечении эксплуатационных свойств изделий постоянно возрастает [1].

Наряду с широко применяемыми способами поверхностного упрочнения (наплавка, напыление, различные виды химико-термической обработки, закалка токами высокой частоты и др.) весьма перспективной является импульсная электронно-лучевая обработка. Этот способ упрочнения является локальным, что дает возможность обрабатывать только повреждаемые в процессе эксплуатации участки рабочих поверхностей, уменьшая деформацию и коробление инструмен-

та и обеспечивая экономию электроэнергии по сравнению с часто используемым азотированием и нитроцементацией.

Электронно-лучевое борирование углеродистых сталей в насыщающих обмазках (аморфный бор или карбид бора) позволяет снизить хрупкость и повысить пластичность. После электронно-лучевого борирования слои более пластичны, чем после твердофазного. Кроме того, слои после электронно-лучевого борирования имеют гетерогенную структуру, сочетающую твердые (хрупкие) и более пластичные структурные составляющие [2].

Использование реакционных обмазок позволяет получать покрытия на основе боридов переходных металлов (ванадия, титана) [3], которые обладают высокой твердостью. Механические свойства боридов VB_2 определяются присутствием в них структурных дефектов, примесей, пористости.

В статье рассмотрены особенности поверхностного упрочнения штамповой стали ХВГ под воздействием мощных электронных пучков, за счет закалки и формирования слоев на основе боридов ванадия (VB_2).

Экспериментальная часть

Методика расчетов

Термодинамическое моделирование проводили с помощью программного комплекса TERRA [4]. Расчеты проведены в температурном интервале 273 – 2073 К с шагом 25 К (температура плавления чистого железа Fe 1812 К) в диапазоне давлений 10^5 – 10^{-4} Па для стехиометрических составов, в которых предполагалось образование боридов ванадия VB_2 .

В таблице 1 приводится химический состав легированной стали ХВГ. При моделировании взаимодействия реакционной обмазки с материалом подложки учитывали возможность образования карбидов и боридов легирующих примесей исходной стали ХВГ (Fe, Cr, W, Mn) [5].

Таблица 1

Химический состав в % стали ХВГ

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	W	Cu	Fe
0,9 - 1,05	0,1 - 0,4	0,8 - 1,1	до 0,35	до 0,03	до 0,03	0,9 - 1,2	1,2 - 1,6	до 0,3	~94

Методика эксперимента

Образцы готовили путем нанесения обмазки на предварительно подготовленную поверхность стали. В состав обмазки входили 1:1 по объему смеси оксида V_2O_3 , бора аморфного и углерода, а также органическое связующее – раствор 1:10 клея БФ-6 в ацетоне.

Электронный нагрев непрерывным пучком проводили в течении 1-3 минут при удельной мощности $W = 5,7 \times 10^2$ Вт/мм² (диаметр электронного луча $d = 1$ мм). Остаточное давление в вакуумной камере не превышало 2×10^{-3} Па [6].

Нагрев образцов осуществляли электронным пучком в импульсном режиме с параметрами: ускоряющее напряжение - $U = 24$ кВ; ток пучка - $I = 63$ А. Обработку проводили с длительностью одного импульса - $t = 20$ мкс; количество импульсов - $N = 1800$; частота следования импульсов тока пучка - $f = 6$ Гц. Давление в вакуумной камере 5×10^{-2} Па [7].

Методы исследования

Рентгенофазовый анализ (РФА) осуществляли на дифрактометре Phaser 2D Bruker (Cu K β_1 – излучение).

Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3М. Микротвердомер укомплектован адаптором с цифровой камерой и программой обработки изображений отпечатков NEXSYS ImageExpert MicroHardness 2 (ГОСТ 9450-76).

Микроструктура поперечных шлифов образцов исследована на металлографическом микроскопе МЕТАМ РВ-21, укомплектованным цифровой камерой VEC-335 и программным комплексом NEXSYS ImageExpert Pro 3.0 для количественного металлографического анализа.

Результаты и их обсуждение

Синтез борида VB_2 .

Первоначально моделировали взаимодействие реакционной обмазки, содержащей стехиометрические составы оксида ванадия, аморфного бора и углерода, с материалом штамповой стали ХВГ при образования слоя толщиной 100 мкм. Расчеты показали, что борид VB_2 с использованием стехиометрической смеси V_2O_3 -В-С получить невозможно из-за образования боридов железа Fe_2B , FeB (взаимодействие с металлической основой) и боридов легирующих элементов (CrB_2 , WB , MnB_2). Введение избыточных количеств бора и углерода позволило выбрать оптимальные составы для получения композитных слоев с максимальным выходом боридов ванадия. Для этого варьировали концентрацию бора в реакционной смеси (рис. 1).

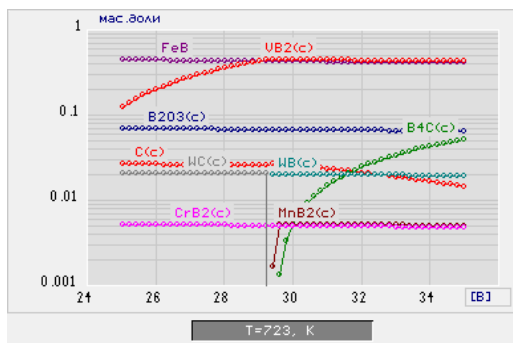


Рис.1. Фазовый состав конденсированных фаз при синтезе борида VB_2 на стали ХВГ ($T=723$ К, $P=10^{-3}$ Па) при изменении бора.

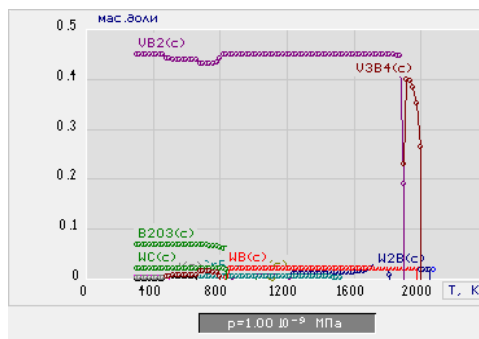


Рис. 2. Максимальный выход борида VB_2 ($P=10^{-3}$ Па) при 29 мас.% В.

Из расчетов установлено, что 29 мас % бора обеспечивает максимальный выход борида VB_2 в покрытии толщиной 100 мкм (рис. 2).

Анализ термодинамических расчетов позволил определить оптимальные условия взаимодействия реакционной смеси V_2O_3 :В:С с поверхностью углеродистой штамповой стали ХВГ для образования композитного покрытия на глубину 5-150 мкм.

СВС и электронно-лучевая наплавка боридов ванадия.

Синтез боридов ванадия осуществляли на поверхности штамповой стали ХВГ.

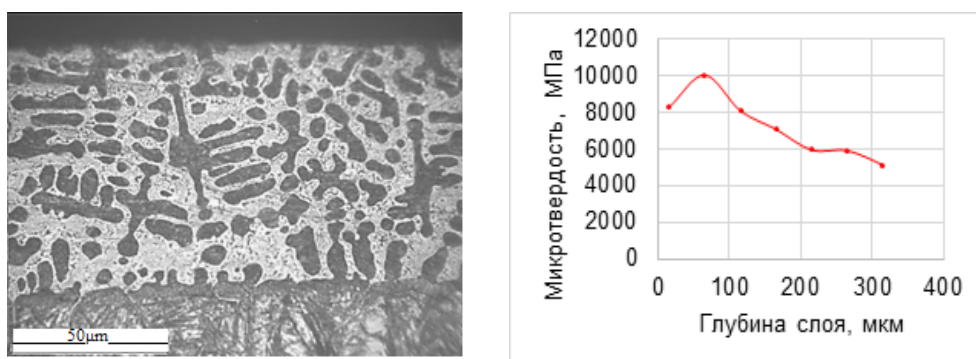


Рис. 3. Структура и микротвердость слоя VB_2 на стали ХВГ

После обработки электронным пучком стали ХВГ, с нанесенными на них боросодержащих обмазок, на поверхности образуется неоднородные слои, толщиной 100-200 мкм (рис.3). Сформированные слои имеют указанную толщину практически по всей своей толще. На рис. 3 видно, что в слое присутствуют частицы, которые располагаются внутри слоя. Это позволяет сделать вывод о том, что эти частицы являются боридами легирующих элементов (вольфрама, хрома, марганца) и ванадия. Слой прочно удерживается на металлической основе.

При измерении микротвердости слоев боридов ванадия с шагом 30-50 мкм обнаружено неравномерное распределение ее по толщине (Рис. 3). Однако, во всех исследованных образцах наблюдалось закономерное распределение микротвердости в зависимости от толщины слоя. Отдельные очень редкие включения имеют $\text{HV} \approx 12000$ МПа и располагаются в приповерхностных зонах слоя. Слои характеризуются наиболее сложной неупорядоченной структурой. Увеличение микротвердости основы до $\text{HV} \approx 5000$ МПа объясняется тем что, она прошла закалку в результате воздействия электронным пучком.

Выводы

1. Анализ термодинамических расчетов с учетом взаимодействия примесей и металлической основы с реакционной смесью стехиометрического состава показывает, что необходим избыток бора. Моделирование позволило определить оптимальные условия взаимодействия реакционной смеси $\text{V}_2\text{O}_3:\text{B}:\text{C}$ с поверхностью углеродистой штамповой стали ХВГ для образования композитного покрытия на глубину 5-150 мкм.

2. В результате электронно-лучевой обработки в вакууме удалось сформировать слои боридов ванадия на штамповой стали ХВГ. Слои боридов ванадия имеют неравномерное по толщине строение, содержат различные фазы и, как следствие, неоднородное распределение физико-механических свойств (например, микротвердости). Твердые частички размером 5-7 мкм находятся в пластичной эвтектике. Поверхность слоя имеет максимальные величины микротвердости.

Исследование микротвёрдости боридных слоёв после борирования непрерывным электронным пучком позволяет сделать вывод об использовании данного способа борирования для упрочнения режущих инструментов и др., испытывающих разогрев в процессе работы до высоких температур без существенного снижения эксплуатационных свойств.

Исследование выполнено в рамках проекта программ фундаментальных исследований СО РАН № 0336-2016-0005 № II 9.3.1.

Литература

1. Воробьева Г. А., Складнова Е. Е., Леонов А.Ф. Инструментальные материалы: учебное пособие. СПб.: Политехника, 2005. 268 с.
2. Smirnyagina N. N., Radnaev B. V., Radnaev B. V., Milonov A. S., Dasheev D. E. Structure, Phase Composition, Heat Resistance Plasticity and Thermal Stability Nanostructural Borides Transitive Metals on Carbon Steel S45 After Electron beam Processing in Vacuum // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55. № 12/3. С. 155–159.
3. Трусов Б. Г. Компьютерное моделирование фазовых и химических равновесий // Московский государственный технический университет Н.Э. Баумана".- Инженерный вестник. 77-48211/48318608, август 2012. Электронный ресурс. URL: <http://engbul.bmstu.ru/doc/483186>.
4. Сорокин В. Г., Гервасьев М. А. Стали и сплавы. Марочник: справочник. М.: Интермет инжиниринг, 2001. 608 с.
5. Milonov A. S., Danzheev B. A., Smirnyagina N. N. and al. Synthesis of transition metal borides layers under pulsed electron-beams treatment in a vacuum for surface hardening of instrumental steels // J. of Physics: Conference Series. 2015. V. 652. P. 012010.

FORMATION FEATURES OF COATINGS ON THE BASIS OF VANADIUM BORIDES VB₂ ON THE DIE STEEL GRADE HVG BY POWERFUL ELECTRON BEAMS IN VACUUM

Aleksandr S. Milonov

candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Institute of Physical Materials Science SB RAS
6 Sahyanova str., Ulan-Ude, 670047, Russia
E-mail: terwer81@mail.ru

Natalya N. Smirnyagina

Doctor of Technical Sciences, associate Professor, chief Researcher,
Institute of Physical Materials Science SB RAS
6 Sahyanova str., Ulan-Ude, 670047, Russia
e-mail: smirnyagina09@mail.ru

Belikto A. Danzheev

postgraduate,
Institute of Physical Materials Science SB RAS
6 Sahyanova str., Ulan-Ude, 670047, Russia
E-mail: bel.tunka@mail.ru

Microstructures and microhardness of boride layers formed on the die steel of the HVG brand by electron-beam boration in vacuum are investigated and compared. The formed layers have heterogeneous structure, combining solid and plastic components, leading to decrease of the boride layer brittleness. Analysis of thermodynamic calculations taking into account the interaction of impurities and metal base with the reaction mixture shows that an excess of boron is required. The simulation allowed us to determine the optimal conditions for the interaction of the reaction mixture V₂O₃:B: C with the surface of carbon die steel to form a composite coating to a depth of 5-150 microns. Keywords: electron beam, ultrahigh frequencies; thermodynamic modeling; vanadium borides; microhardness; boriding; composite coatings.