

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ МНОГОКАРБИДНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СВС-КОМПОЗИТОВ

А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, А. А. Ситников

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул, Россия

В настоящее время большое внимание уделяется методам получения сверхмелкозернистых объемных и дисперсных композиционных материалов. Одним из эффективных способов получения подобных материалов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – высокоэкзотермическое взаимодействие порошковых смесей, протекающее в режиме горения, в результате которого образуются твердые вещества [1]. Приоритет в области СВС принадлежит России, также работы по изучению СВС интенсивно ведутся в США, Китае, Японии и др.

В последние годы наблюдается растущий интерес к такому методу получения дисперсных порошковых материалов как механически активируемый самораспространяющийся высокотемпературный синтез, основанный на сочетании технологий механоактивационной обработки и СВС [2]. Предварительная механическая активация порошковых реагирующих смесей является эффективным способом управления реакцией безгазового горения для синтеза неорганических материалов [3, 4]. Благодаря этому интенсивно расширяется область применения композиционных материалов, синтезированных по технологии механически активируемого СВС [5, 6]. Также активно ведутся исследования в направлении совершенствования композиционных материалов, состоящих из разнородных компонентов: например, разработан наплавочный материал «сталь Р6М5 – тугоплавкий карбид», предназначенный для упрочнения поверхностей типа опорных шеек «вал-шестерня», работающих в тяжелонагруженных условиях [7].

Одним из направлений исследования механически активируемого СВС является проведение реакции синтеза компонентов в «инертной» матрице. Путем применения технологии механоактивации и СВС в «инерт-

ной» матрице возможно создать смесь, содержащую различные высокодисперсные карбиды металлов, равномерно распределенные по объему матрицы, и которую чрезвычайно сложно или вообще невозможно получить другими способами. Покрытия, полученные из таких многокомпонентных СВС-композиций, могут обладать свойствами каждого из компонентов, в результате чего покрытие в целом будет иметь взаимодополняющие физико-механические характеристики. Исследование структуры и свойств покрытий, полученных из подобных СВС-композиций, представляет большой научный и практический интерес.

Цель работы – исследовать общую структуру и морфологию поверхности, а также свойства композиционных покрытий, наплавленных дуговым способом смесью типа «наплавочный порошок – смесь тугоплавких карбидов титана, кремния и/или вольфрама».

Методика проведения исследований

В качестве исходных реагентов для создания многокарбиной композиционной наплавочной смеси использовались порошки титана, углерода, карбида кремния и карбида вольфрама. В качестве матрицы использовался наплавочный порошок марки ПР-Н70Х17С4Р4-З. Карбид титана синтезировался из порошков титана и углерода в режиме фронтального горения с локальным инициированием процесса СВС-реакции.

Механическая активация порошковых смесей проводилась с помощью планетарной шаровой мельницы-активатора АГО-2С с возможностью варьирования энергонапряженности от 10 до 100 г.

Электродуговая наплавка осуществлялась в три прохода на подложку из стали 45 трубчатым порошковым электродом, содержащим следующие составы СВС-

механокомпозитов:

- 1 состав: 15 % TiC + 5 % SiC + ПР-Н70Х17С4Р4-3;
- 2 состав: 15 % TiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3;
- 3 состав: 15 % TiC + 5 % SiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3.

При проведении исследований образцов с покрытием использован метод металлографического (оптический микроскоп Carl Zeiss Axio Observer Z1) и электроннооптического анализа (растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 50 с микроанализатором EDS X-Act «OXFORD»).

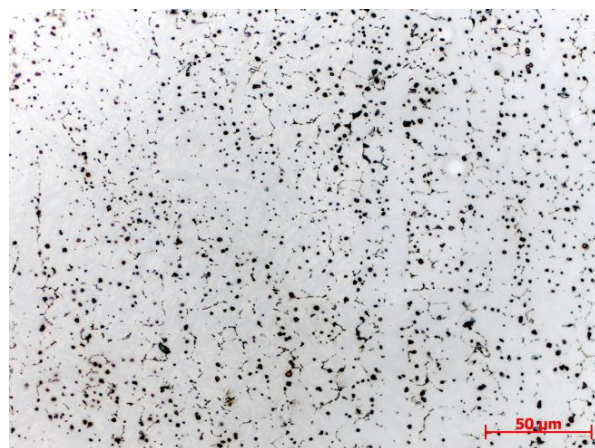
Для исследовании общей структуры покрытий применялось химическое травление 3 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте, а при исследовании тонкой структуры покрытий применяли химическое травление в течение 5 минут водным раствором 20 % красной кровяной соли $K_3[Fe(CN)_6]$ и 20 % КОН.

Качество наплавленного металла оценивали методом визуально-измерительного контроля, а свойства покрытия – по его твердости в поперечном и продольном направлениях. Для измерения твердости использовал-

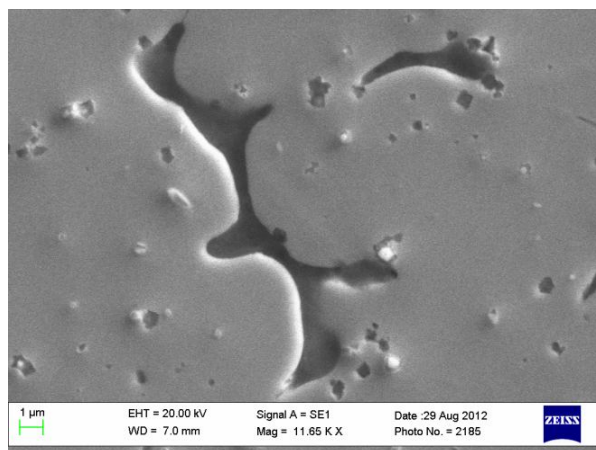
ся микротвердомер для проведения испытаний по Виккерсу 402 MVD.

Результаты исследований и их обсуждение

Распределение карбидной фазы и микроструктуру наплавленного покрытия изучали сначала на образцах, полученных из порошков композиционной наплавочной смеси состава № 1. В наплавленном металле покрытий из порошков этого состава были обнаружены включения карбидов титана и кремния (рисунок 1, а). По данным элементного анализа установлено, что TiC в основном содержится в наплавленном металле в виде цепочек по границам зерен, а также в виде одиночных мелких включений. SiC находится в структуре наплавленного слоя в виде включений неправильной формы более крупного по сравнению с зернами TiC размера. Для определения размеров карбидных частиц различной формы, образовавшихся в наплавленных покрытиях, были проведены дополнительные исследования тонкой структуры. Морфология включений карбидов титана и кремния приведена на рисунок 1, б.



а)



б)

Рисунок 1 – Микроструктура и морфология покрытия, наплавленного смесью состава 15 % TiC + 5 % SiC + ПР-Н70Х17С4Р4-3: а) – оптическая микроскопия, б) – растровая электронная микроскопия

Значения микротвердости в покрытии этого типа превышают показатели в основном металле в 3-4 раза, пиковые значения составляют около 900 HV. Переходная зона между наплавленным слоем и основным металлом составляет около 300 мкм. Общая картина распределения микротвердости яв-

ляется типичной для деталей, подверженных термомеханическому воздействию на металл при электродуговой наплавке.

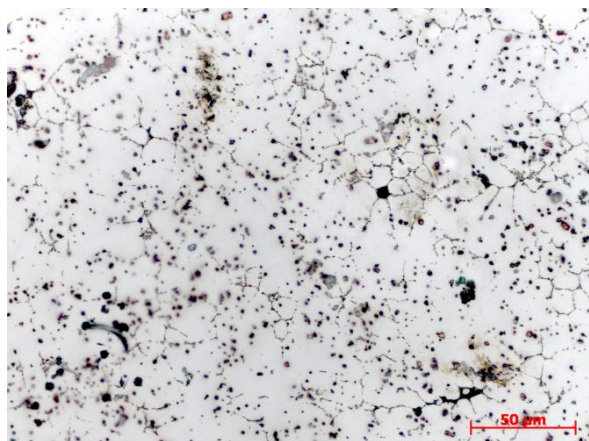
Проведение металлографических исследований на образцах, наплавленных композиционной смесью состава № 2 показало, что в наплавленном металле, наряду с це-

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ПОКРЫТИЙ ИЗ МНОГОКАРБИДНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ СВС-КОМПОЗИТОВ

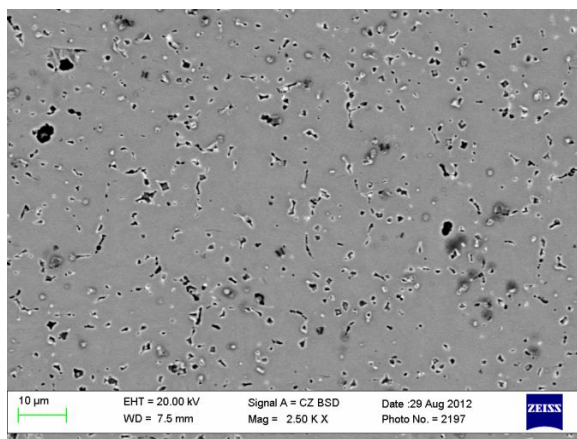
почками и мелкими единичными включениями карбида титана, выделяются мелкие одиночные частицы карбида вольфрама различной формы. При этом, по данным спектрального анализа, введение в состав наплавочной смеси TiC и WC приводит к более близкому расположению включений этих двух карбидов друг к другу. Пиковые значения микротвердости наплавки достигают 950 HV, однако имеет место более неоднородное распределение карбидного зерна в зоне проведения испытаний, что повлияло на среднее значение микротвердости (750-800 HV).

По результатам исследований образцов покрытий, наплавленных композиционной смесью состава № 3, установлено, что введение в поверхностный слой карбидов не-

скольких типов приводит к увеличению доли мелких карбидных соединений, выпадающих по границам зерен в виде сетки (рисунок 2, а). При этом, возрастает доля крупных карбидов, образующихся в том числе и внутри зерен. Проведенный химический анализ подтвердил наличие в структуре наплавки включений всех трех типов карбидов – TiC, WC и SiC. Морфологию содержащихся в наплавленном покрытии карбидов можно оценить, используя рис. 2, б. Пиковые значения микротвердости в покрытии этого типа составляют 1050 HV, среднее значение микротвердости по покрытию колеблется в пределах 900 HV. Распределение карбидного зерна по объему наплавки в данном случае более равномерное по сравнению с предыдущим типом покрытия.



а)



б)

Рисунок 2. Микроструктура и морфология покрытия, наплавленного смесью состава 15 % TiC + 5 % SiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3: а) – оптическая микроскопия, б) – растровая электронная микроскопия

Таким образом, использование для электродуговой наплавки многокомпонентных порошков СВС-мехакомпозитов составов:

- 15 % TiC + 5 % SiC + ПР-Н70Х17С4Р4-3;
- 15 % TiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3;
- 15 % TiC + 5 % SiC + 5 % WC + ПР-Н70Х17С4Р4-3

дает возможность получать в структуре металла покрытия, наряду с крупными карбидами различной формы преимущественно более мелкие одиночные карбиды и их цепочки. Следовательно, полученная структура наплавленного металла из-за измельчения зерна должна обеспечивать значительную износостойкость за счет высокой твердости покрытия.

Выводы

1. Путем оптической металлографии, растровой электронной микроскопии и микроспектрального анализа было установлено, что в результате электродуговой порошковой наплавки многокомпонентной электродной смесью в структуре покрытия присутствуют частицы карбидной фазы – TiC, SiC и WC – разной формы и размеров в объеме металлической матрицы (ПР-Н70Х17С4Р4-3), что свидетельствует о возможности управления структурой покрытия изменением вида и содержания упрочняющей фазы.

2. Предварительная механоактивационная обработка порошковых смесей в планетарной шаровой мельнице АГО-2С и прове-

дение реакции высокотемпературного синтеза в смешанной системе позволяет получить композиционный гетерогенный материал (СВС-механокомпозит), что за счет высокой микротвердости покрытия будет обеспечивать получение высококачественного износостойкого слоя методом электродуговой наплавки на основе смеси карбидов титана, кремния и вольфрама.

Список литературы:

1. Евстигнеев В. В., Вольпе Б. М., Милюкова И. В., Сайгутин Г. В. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. – М. : Высшая школа, 1996. – 284 с.
2. Ляхов Н. З., Талако Т. Л., Григорьева Т. Ф. Влияние механоактивации на процессы фазо- и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. – Новосибирск : Параллель, 2008. – 168 с.
3. White J. D. E., Mukasyan A. S., Reeves R. V., et al. Thermal explosion in Ni-Al system: influence of mechanical activation // The Journal of Physical Chemistry A (Dynamics, Kinetics, Environmental Chemistry, Spectroscopy, Structure, Theory). – 2009. – V. 113, № 48. – P. 13541–13547.
4. Ситников А. А., Яковлев В. И., Семенчина А. С. и др. Термодинамический анализ самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в многокомпонентных системах // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 132–138.
5. Ситников А. А., Яковлев В. И., Собачкин А. В. и др. Покрытия из механоактивированных СВС-материалов для рабочих органов сельскохозяйственных машин, наплавленные ручным дуговым способом // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1/1. – С. 273–277.
6. Ситников А. А., Яковлев В. И., Сейдуров М. Н. и др. Структура и свойства наплавленных электродуговых покрытий из порошков механоактивированных СВС-композитов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 3 (52). – С. 51–54.
7. Гнусов К. С. Формирование структуры и свойств покрытий на основе композиционного материала сталь Р6М5–тугоплавкий карбид : автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2009. – 18 с.