

УДК 620.198:533.9 (045)

А.П. УМАНСКИЙ¹, А.Е. ТЕРЕНТЬЕВ¹, М.С. СТОРОЖЕНКО², А.А. БОНДАРЕНКО¹¹Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев²Национальный авиационный университет, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК TiB₂ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ NiCrSiB

Для увеличения износостойкости плазменных покрытий из самофлюсующихся сплавов на никелевой основе предложено вводить в состав исходных порошков добавки диборида титана. Методами порошковой металлургии получали композиционные порошки НХТБ на основе серийно выпускаемого порошка ПР-НХ16СРЗ с добавками 10, 20 и 40 мас.% TiB₂. При плазменном напылении таких порошков формируется покрытие с гетерофазной структурой в которой зерна диборида титана и боридов хрома распределены в матрице на основе никелевого сплава. Представлены результаты триботехнических испытаний полученных покрытий в условиях трения скольжения без смазки.

Ключевые слова: самофлюсующийся сплав, плазменное напыление, покрытие, диборид титана, структура, микротвердость, износостойкость.

Введение

Развитие многих отраслей современной техники, в том числе двигателестроения, в значительной степени зависит от успешного применения защитных покрытий, которые предохраняют рабочие поверхности от различных видов износа и коррозии в широком интервале температур.

Анализ применяемых в двигателестроении технологий упрочнения показал, что на сегодняшний день наиболее распространенными являются методы газотермического напыления покрытий – детонационный, плазменный, высокоскоростной газопламенный. Это объясняется высокой продуктивностью процессов напыления, возможностью нанесения покрытий на детали различной конфигурации и получения покрытий значительной толщины.

В качестве исходных материалов для нанесения износостойких покрытий методами газотермического напыления широкое применение нашли высоколегированные самофлюсующиеся сплавы системы NiCrBSi типа ПГ-СР2...ПГ-СР4.

В сплаве бор и кремний образуют с никелем и хромом легкоплавкие эвтектики с температурой плавления 950 – 1080 °С, а также восстанавливают окисные пленки на поверхности частиц порошка с образованием боросиликатных шлаков. Наличие в сплаве бора приводит к образованию в покрытии боридов никеля и хрома. Углерод участвует в образовании карбидов хрома. Включения образовавшихся твердых боридов и карбидов в процессе эксплуатации воспринимают основную нагрузку и способствуют повышению износостойкости. Пластичная

матрица на основе никеля перераспределяет напряжения и предотвращает хрупкое разрушение покрытий.

Технология нанесения, структура и свойства газотермических покрытий системы NiCrBSi детально изучены в работах [1 – 8].

В работе [5] представлена сравнительная оценка триботехнических свойств покрытий WC–17%Co, WC–10%Co4%Cr, Cr₃C₂–25%NiCr, NiCrSiB, WC–10%Co4%Cr, (Ti,Mo)(C,N)–18,5%Ni18,5%Co, полученных плазменным напылением и HVOF-методом. Выявлено, что в условиях трения скольжения без смазки при высоких нагрузках и скоростях, а также при абразивном изнашивании покрытия системы NiCrBSi имеют значительно больший износ по сравнению с покрытиями на основе карбида вольфрама и карбида хрома. Авторы объясняют полученные результаты тем, что количество упрочняющих фаз CrB, Cr₇C₃ и Ni₃B в исследуемых покрытиях системы NiCrBSi недостаточно для того, чтобы эффективно противостоять действию абразивных частиц и препятствовать процессам схватывания при трении скольжения. Недостаточно высокая износостойкость газотермических покрытий из самофлюсующихся порошков на основе никеля в экстремальных условиях испытаний отмечается также в работах [6 – 8].

Повышение износостойкости газотермических покрытий системы NiCrBSi может быть достигнуто путем введения в состав самофлюсующегося сплава упрочняющих частиц тугоплавких соединений. На практике для этих целей наиболее часто используют карбиды вольфрама, хрома и титана [9, 10].

В качестве упрочняющей фазы для покрытий системы NiCrSiB перспективным является диборид титана, который обладает высокой твердостью и износостойкостью [11].

Цель данной работы – разработать технологию получения композиционных порошков на основе на основе самофлюсующегося сплава NiCrSiB с добавками диборида титана и исследовать закономерности влияния добавок TiB₂ на формирование структурно-фазового состава и свойства плазменных покрытий.

2. Методика и материалы

Для напыления плазменных покрытий использовали промышленный порошок марки ПР-НХ16СР3 (ОАО «Полема», Россия) и разработанные композиционные порошки НХТБ10, НХТБ20 и НХТБ40 на основе сплава ПР-НХ16СР3 с добавками 10, 20 и 40 мас.% TiB₂ соответственно (Табл.1). Фракция порошков ПР-НХ16СР3 и НХТБ для напыления составляла (-100+63) мкм.

В качестве исходных материалов для получения композиционных порошков НХТБ использовали промышленный порошок марки ПР-НХ16СР3 с фракцией (-63+30) мкм и порошок диборида титана (ТУ 6-09-03-7-75). Порошок TiB₂ измельчали на протяжении 7 минут в лабораторной планетарной мельнице в среде спирта, используя размольные тела из твердого сплава, соотношение массы смеси и шаров - 1:3. После размола средний размер частиц TiB₂ составлял 2,5-2,7 мкм.

Порошки НХТБ получали путем смешивания исходных компонентов в среде спирта с последующим брикетированием и спеканием в вакууме в печи СШВЛ. Температуру спекания варьировали в зависимости от содержания диборида титана: НХТБ10 – 900 °С, НХТБ20 – 1100 °С, НХТБ40 – 1400 °С.

Полученные спеки измельчали и просеивали через набор сит, отбирая фракцию (-100+63) мкм.

Нанесение покрытий из порошков ПР-НХ16СР3 и НХТБ осуществляли плазменным способом в открытой атмосфере (APS) с использованием в качестве плазмообразующего газа смеси аргона и водорода. Покрытия наносили на подложки из стали, используя плазменную установку УПУ-3Д-М с камерой-манипулятором 15ВБ. В качестве плазменного генератора использовался плазмотрон мощностью 55 кВт.

Поверхность подложки предварительно подвергали струйно-абразивной обработке. Для увеличения адгезионной связи материала покрытия с подложкой использовали промежуточный слой из терморезирующего материала ПТЮ5Н.

Условия и режимы напыления промышленного порошка ПР-НХ16СР3 и разработанных порошков НХТБ представлены в табл. 1. Особенность нанесения разработанных конгломерированных порошковых материалов НХТБ заключается в том, что с увеличением в композиции количества тугоплавкой составляющей необходимо увеличивать мощность электрической дуги или время пребывания частиц в плазменном потоке.

Химический состав, структуру порошков и покрытий исследовали с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ). Используемый прибор не определяет бор и углерод, поэтому представленные в работе результаты по химическому составу приведены без учета этих элементов.

Микротвердость полученных покрытий определяли вдавливанием алмазной пирамиды Виккерса при нагрузке 0,1Н на приборе ПМТ-3.

Триботехнические испытания проводили в условиях трения скольжения без смазки по схеме стержень-диск. В качестве контртела использовали сталь 65 Г.

Таблица 1

Состав порошков и параметры напыления плазменных покрытий

№ п/п	Материал покрытия	Состав, %	Фракция, мкм	Напряжение, В	Ток, А	Расход плазмо-обр. газа, л/мин	Дистанция нап., мм	Способ подачи материала	Толщина покр. мм.
1	ПР-НХ16СР3	Cr-16; B-2,7; Si-3,2; C-0,75; Fe<5; Ni – ост.	-100+63	65	450	50	160	под срез анода	0,5
2	НХТБ-10	ПР-НХ16СР3 +10%TiB ₂	-100+63	65	450	45	150	- “ -	0,6
3	НХТБ-20	ПР-НХ16СР3 +20%TiB ₂	-10+630	65	480	40	150	- “ -	0,5
4	НХТБ-40	ПР-НХ16СР3 +40%TiB ₂	-100+63	70	500	42	150	Навстречу потоку	0,25

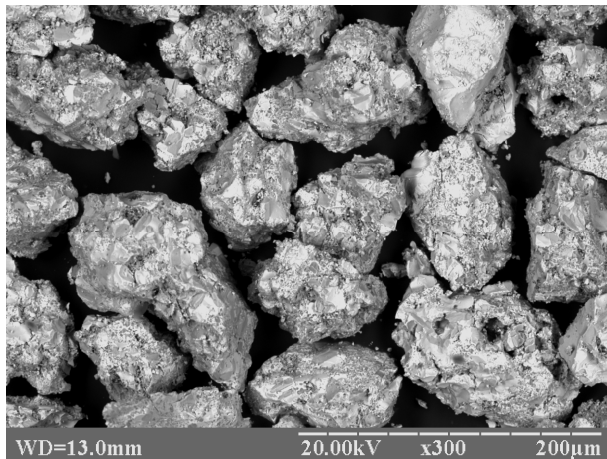
2. Результаты исследований и их обсуждение

Частицы композиционного порошка НХТБ являются конгломератами, содержащими металлическую фазу на основе никеля и зерна упрочняющих фаз (рис. 1). Основная масса включений диборида титана имеет размер до 1 мкм, также присутствуют отдельные зерна TiB_2 размером 2-5 мкм (рис. 1, табл. 2, спектр 1). В металлической фазе на основе никеля химическим анализом обнаружено наличие титана, а количество хрома в сплаве значительно меньше по сравнению с исходным составом сплава (рис. 1, табл. 2, спектр 2, 4). Также были обнаружены отдельные частицы на основе хрома с небольшим содержанием никеля и титана (рис. 1, табл. 2, спектр 3, 5). Общее количество хрома по всей поверхности порошков практически соответствует его содержанию в исходном порошке (табл. 2).

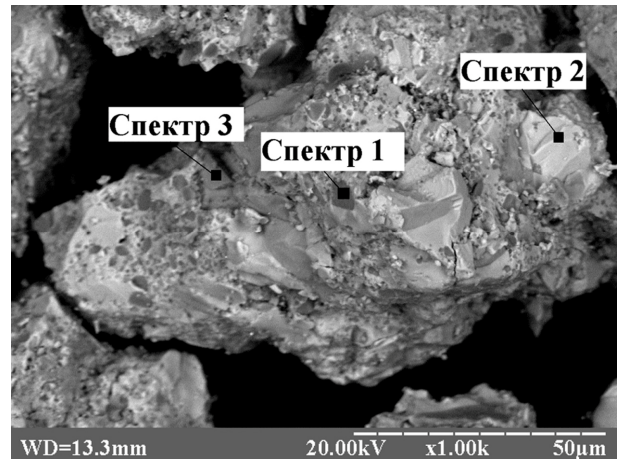
Таблица 2

Химический состав
композиционных порошков НХТБ (рис. 1)

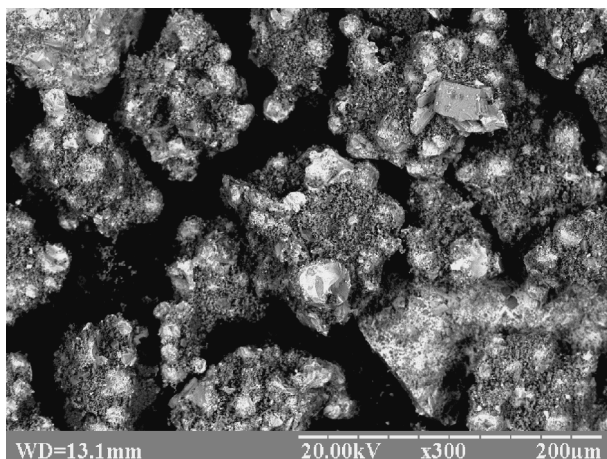
	Концентрация элементов, масс.%				
	Ti	Ni	Cr	Fe	Si
Порошок НХТБ10	12,45	64,49	15,7	4,38	2,98
Порошок НХТБ20	22,93	54,14	14,01	5,08	3,06
Порошок НХТБ40	49,76	35,98	9,07	2,97	1,49
Спектр 1	75,8	16,9	6,27	0,11	0,92
Спектр 2	6,06	81,38	4,38	3,89	4,29
Спектр 3	16,54	28,42	50,53	3,14	1,37
Спектр 4	16,03	73,33	5,19	4,60	0,84
Спектр 5	12,58	10,62	70,52	5,06	1,22
Спектр 6	89,09	5,20	2,48	3,06	0,17



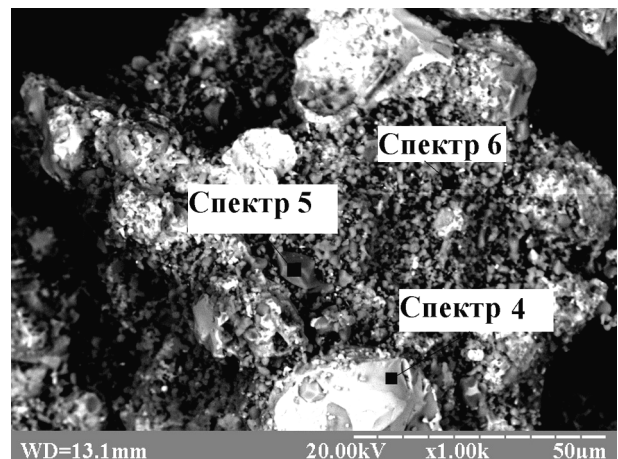
а



б



в



г

Рис. 1. Композиционные порошки НХТБ: а, б – НХТБ20; в, г – НХТБ40

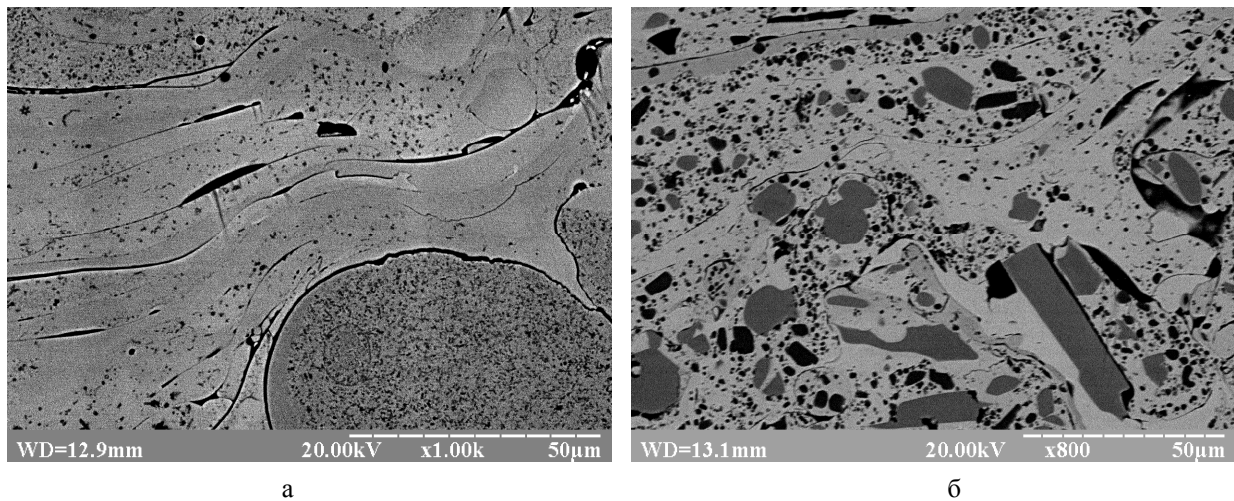


Рис. 2. Структура плазменных покрытий: а – ПГСПЗ; б – НХТБ20

Можно предположить, что во время процесса спекания происходит частичное разложение диборида титана с образованием сложных боридов хрома, титана и никеля и твердых растворов титана в сплаве на основе никеля. С увеличением количества TiB_2 в исходных смесях, содержание титана в никель-хромовом сплаве также возрастает, что свидетельствует об интенсификации процессов растворения и образования сложных боридов.

При плазменном напылении таких композиционных порошков практически отсутствует разделение компонентов в плазменной струе из-за разных скоростей. Это способствует формированию на стали сплошных покрытий с пористостью < 7%.

Все разработанные НХТБ покрытия характеризуются гетерофазной структурой, в которой зерна упрочняющих фаз достаточно равномерно распределены в матрице на основе никелевого сплава (рис. 2). В структуре плазменных покрытий НХТБ обнаружены крупные включения серого цвета размером 20-40 мкм, которые по данным растровой электронной микроскопии содержат хром (до 95%). Микротвердость этих зерен составляет 20-26 ГПа, что соответствует микротвердости боридов хрома [11]. Диборид титана присутствует в покрытии в виде мелкодисперсных зерен черного цвета размером до 2-3 мкм. С увеличением содержания TiB_2 в исходном порошке увеличивается количество включений диборида титана и в покрытии. Методом растровой электронной микроскопии выявлено, что металлическая матрица на основе никеля содержит кремний, хром, железо и титан. Микротвердость металлической фазы НХТБ покрытий составляет 6-7 ГПа, что соответствует микротвердости покрытия ПГСП.

Триботехнические исследования в условиях трения скольжения без смазки показали, что с увеличением содержания диборида титана в покрытиях увеличивается износостойкость (рис. 3).

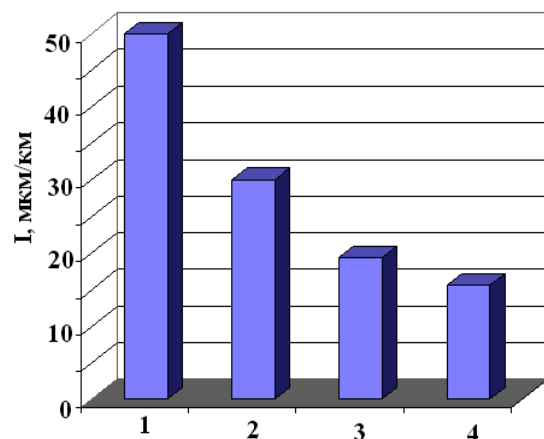


Рис. 3. Интенсивность изнашивания плазменных покрытий в условиях трения скольжения без смазки ($P=0,5$ МПа, $v=12$ м/с): 1 – ПГСПЗ; 2 – НХТБ10; 3 – НХТБ20; 4 – НХТБ40

Выводы

Таким образом, в работе были получены композиционные порошки НХТБ на основе самофлюсующегося сплава NiCrBSi с 10, 20, 40 мас.% TiB_2 . При плазменном напылении таких порошков на сталь формируется гетерофазная структура, которая состоит из металлической матрицы на основе никеля и включений боридов хрома и титана. При увеличении количества диборида титана в покрытиях увеличивается твердость и износостойкость в условиях трения скольжения без смазки.

Литература

1. Борисов, Ю.С., Плазменные порошковые покрытия [Текст] / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова. – К.: Техніка, 1986. – 233 с.
2. Борисов, Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов [Текст]: справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Арбатовская. – К.: Техніка, 1987. – 544 с.
3. Pawlowski, L. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings [Text] / L. Pawlovski. – Chichester: John Willey & Sons, 2008. – 626 p.
4. Kumar, A. Das. Stereometric analysis and relation between the porosity of sprayed and sintered NiCrSiB plasma spray protective coating [Text] / A.Das. Kumar // Journal of Materials Processing Technology. – 2000. – V. 101. – P. 322-331.
5. Kulu, P. Recycled hard metal-base wear-resistance composite coatings [Text] / P. Kulu, J. Halling // Journal of Thermal Spray Technology. – 1998. – V.7. – P. 173 – 178.
6. Rodríguez, J. An experimental study of wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings [Text] / J. Rodríguez, A. Martín, R. Fernández, J. Fernández // Wear. – 2003. – V. 255. – P. 950 – 955.
7. Miguel, S.J. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different process [Text] / S.J. Miguel, J.M. Guilemany, J.M. Vizcain // Tribol. Int. – 2003. – V.36. – P. 181 – 187.
8. Houdkova, S. Comparative study of thermally sprayed coatings under different types of wear conditions for hard chromium replacement [Text] / S. Houdkova, F. Zaha'ika, M. Kas'parova, L.M. Berger // Tribol. Lett. – 2011. – V.43. – P. 139 – 154.
9. Sari, N.J. Improvement of wear resistance of wire drawing rolls with Cr-Ni-B-Si+WC thermal spraying powders [Text] / N.J. Sari, M. Yilmaz // Surface and Coatings Technology. – 2008. – V. 202. – P. 31.36 – 31.41.
10. Клинская-Руденская, Н.А. О влиянии тугоплавких добавок на структуру и свойства покрытий из самофлюсующихся сплавов [Текст] / Н.А. Клинская-Руденская, Б.П. Кузьмин // Физика и химия обработки материалов. – 1996. – N 1. – С. 55 – 61.
11. Самсонов, Г.В. Тугоплавкие соединения [Текст]: справочник / Г.В. Самсонов, И.М. Винницкий. – М.: Металлургия, 1976. – 557 с.

Поступила в редакцию 21.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Д. Панасюк, Институт проблем материаловедения НАН Украины, Киев.

ВПЛИВ ДОБАВОК TiB₂ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ NiCrSiB

О.П. Уманський, О.Є. Терентьев, М.С. Стороженко, О. А. Бондаренко

Для підвищення зносостійкості плазмових покриттів з самофлюсуючих сплавів на нікелевій основі запропоновано вводити до складу вихідних порошків добавки дибориду титану. В роботі методами порошкової металургії отримували композиційні порошки НХТБ на основі промислового порошку ПР-НХ16СР3 з 10, 20 і 40мас.% TiB₂. При плазмовому напиленні таких порошків формується покриття з гетерофазною структурою в якій зерна дибориду титану і боридів хрому розподілені в матриці на основі нікелевого сплаву. Представлено результати триботехнічних випробовувань плазмових покриттів НХТБ в умовах тертя ковзання без мастила.

Ключові слова: самофлюсуючий сплав, плазмове напилення, покриття, диборид титану, структура, мікротвердість, зносостійкість.

INFLUENCE OF TiB₂ ADDITIVES ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF NiCrSiB-BASED PLASMA SPRAY COATINGS

A.P. Umanskyi, A.E. Terentjev, M.S. Storozhenko, A.A. Bondarenko

The TiB₂ additives have been introduced in Ni-based self fluxing alloy to increase wear-resistance of plasma spray coatings. The ПР-НХ16СР3-based composite powders with 10, 20 і 40wt.% of TiB₂ additives have been produced using the powder metallurgy methods. The НХТБ plasma coatings have heterogeneous structure which consists of the titanium diboride and chromium borides grains distributed in nickel based matrix. The results of wear test under dry friction show the increase of wear-resistance of НХТБ coatings in comparison with NiCrBS coatings.

Key words: self-fluxing alloy, plasma spraying, coating, titanium diboride, structure, microhardness, wear-resistance.

Уманський Александр Павлович – д-р техн. наук, ведучий научний співробітник Інститута проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН, Київ, Україна, e-mail: kermet@voliacable.com.

Терентьев Александр Евгеньевич – ст. научний співробітник Інститута проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН, Київ, Україна, e-mail: terentjev_a@mail.ru.

Стороженко Марина Сергеевна – канд. техн. наук., доцент кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: storozhenkomaryu@ukr.net.

Бондаренко Алексей Аврамович – ведучий інженер 49 відділа Інститута проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН, Київ, Україна.