

УДК. 620.198.533.9 (045)

А.П. Уманский, А.Е. Терентьев, М.С. Стороженко, И.С. Марценюк
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК
TiB₂ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТАВА
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ И ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ (Ni-Cr-Si-B) - TiB₂

В статье рассматриваются вопросы повышения износостойкости плазменных покрытий из эвтектических самофлюсующихся сплавов на основе никеля путём введения в состав серийного материала ПР-НХ16СР3 мелкодисперсной добавки диборида титана в количествах 10 – 40% мас. Установлено, что в процессе получения композиционных порошков методом высокотемпературного спекания в вакууме с последующим дроблением, в структуре материала матрицы синтезируются дополнительные фазы в виде зерен сложных боридов хрома легированных титаном с твердостью 22,9 – 25,4 ГПа. Плазменные покрытия из полученных материалов отличаются повышенной плотностью. Исследована зависимость количества и размера образующихся фаз от количества вводимой до-бавки - TiB₂. Определено оптимальное количество этой добавки в композиционных порошках для плазменных покрытий.

Ключевые слова: плазменные покрытия, композиционные порошки, микротвёрдость, самофлюсующийся сплав, износостойкость, фазовый состав.

Табл. 4. Рис. 6. Лит. 12.

О.П. Уманський, О.Є. Терентьєв, М.С. Стороженко, І.С. Марценюк
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ДОМІШОК
TiB₂ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЙНИХ
ПОРОШКІВ І ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ (Ni-Cr-Si-B) – TiB₂

У статті розглядаються питання підвищення зносостійкості плазмових покриттів з евтектичних самофлюсівних сплавів на основі нікелю шляхом введення до складу серийного матеріалу ПР-НХ16СР3 дрібнодисперсної домішки дибориду титану в кількості 10 - 40% мас. Встановлено, що в процесі отримання композиційних порошків методом високотемпературного спікання у вакуумі з подальшим дробленням, у структурі матеріалу матриці синтезуються додаткові фази у вигляді зерен складних боридів хрому легованих титаном з твердістю 22,9 - 25,4 ГПа. Плазмові покриття з отриманих матеріалів відрізняються підвищеною щільністю. Досліджено залежність кількості та розміру утворюючихся фаз від кількості введеної домішки – TiB₂. Визначено оптимальну кількість цієї домішки в композиційних порошках для плазмових покриттів.

Ключові слова: плазмові покриття, композиційні порошки, микротвердість, самофлюсівний сплав, зносостійкість, фазовий склад.

O. Umanskyi, O. Terentjev, M. Storozhenko, I. Martsenjuk
INVESTIGATION OF INFLUENCE OF TiB₂ ADDITIONS ON THE FORMATION OF PHASE
COMPOSITION AND STRUCTURE OF COMPOSITE POWDERS AND COATINGS OF (Ni-
Cr-Si-B) - TiB₂ SYSTEM

The article is devoted to the improvement of wear-resistance of plasma-sprayed coatings from nickel self-fluxing alloy by insertion of 10 – 40 wt. % of titanium diboride particles. The composite powders of (Ni-Cr-Si-B) - TiB₂ system have been produced by mixing of initial powders, sintering of mixtures in vacuum and crushing of obtained bulk materials. It has been determined that additional phases such as grains of chromium borides with microhardness of 22.9-25.4 GPa are formed during sintering process. Plasma-sprayed coatings of (Ni-Cr-Si-B) - TiB₂ have high density. The influence of TiB₂ particles addition on the phase composition and structure of coatings has been studied to determine the optimal quantity of titanium boride content in powders.

Keywords: plasma-sprayed coatings, composite powders, microhardness, self-fluxing alloy, wear-resistance, phase composition.

Способы газотермического нанесения покрытий, являются весьма эффективным средством для повышения служебных характеристик поверхностного слоя деталей, работающих в агрессивных средах, в условиях интенсивного изнашивания при высоких удельных нагрузках, скоростях скольжения и повышенных температурах. Существует большой ассортимент порошковых материалов для плазменного, газопламенного и детонационного методов напыления, выпускаемых ведущими в этой отрасли отечественными и зарубежными фирмами, такими как Sulzer Metco (Швейцария), Castolin Eutectic (Швейцария), Höganäs (Голландия), ОАО «Полема» (Россия), ОАО «Твёрдосплав» (Украина). Из представленных на рынке металлических порошковых материалов для нанесения антикоррозионных износостойких покрытий широко используются высоколегированные самофлюсующиеся эвтектические сплавы на никелевой основе системы Ni-Cr-B-Si-C с различным соотношением компонентов. Изменяя соотношение процентного состава компонентов можно получать покрытия с различной твердостью (от 90-100 HRB до 62 HRC) и высокой вязкостью благодаря никелевой основе. Эти материалы используются для напыления и наплавки покрытий, стойких против коррозии, изнашиванию трением и

абразивними частинами [1,3]. Свойства покрытий системы Ni-Cr -Si-B, их структура и способы нанесения изучены и описаны в работах [2-6,8,11].

В ряде случаев, покрытия указанного состава оказываются недостаточно стойкими. В работе [7] проводили сравнительную оценку износостойкости плазменных покрытий: WC-17%Co, WC-10%Co4%Cr, Cr₃C₂-25% NiCr, WC-10%Co 4%Cr, (Ti,Mo)(C,N) -18.5%Ni18.5%Co и Ni-Cr-B-Si-C. Исследования показали, что покрытия из самофлюсующихся сплавов значительно уступают покрытиям на основе карбида вольфрама и карбида хрома в условиях трения скольжения без смазки при высоких нагрузках и скоростях, а также при абразивном изнашивании. Авторы считают, что в сплаве системы Ni-Cr-Si-B-C формируется недостаточное количество упрочняющих фаз из карбоборидов хрома и никеля, способных эффективно противостоять износу в парах трения и износу абразивными частицами.

Один из возможных вариантов повышения износостойкости покрытий из самофлюсующихся сплавов – добавление в состав исходных порошков карбидов вольфрама, титана и хрома [5,11]. Так известен серийный порошковый материал ПС-12НВК (ОАО «Твёрдосплав», Украина) состоящий из 65% сплава системы Ni-Cr-B-Si-C и 35% WC. Недостатками этого сплава является повышенная окисляемость WC при плазменном напылении в открытой атмосфере (APS), присутствие в составе вольфрамсодержащих добавок, которые повышают дефицитность и стоимость указанного материала, а также то, что указанный материал является механической смесью крупнодисперсной металлической и мелкодисперсной упрочняющей составляющих. В конечном итоге это приводит к неравномерному распределению упрочняющей фазы в напыленном покрытии.

Ещё одним существенным недостатком покрытий системы Ni-Cr-B-Si-C являются весьма высокие остаточные термические напряжения, особенно при больших толщинах покрытий, встречающихся в условиях ремонта и восстановления геометрических размеров деталей. Часто это приводит к растрескиванию и отслоению покрытия. Перспективным с точки зрения повышения износостойкости покрытий из самофлюсующихся сплавов на никелевой основе является введение в их состав добавки диборида титана. Он обладает высокой твёрдостью, термостойкостью и износостойкостью [9], менее дефицитен, имеет меньший удельный вес и дешевле, чем карбид вольфрама. Кроме того, введение в состав покрытия мелкодисперсной упрочняющей фазы позволит снизить остаточные термические напряжения и уменьшить склонность покрытия к растрескиванию.

Целью настоящей работы является создание композиционного порошкового материала для газотермических покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками, на основе самофлюсующегося сплава системы Ni-Cr-B-Si-C с мелкодисперсными добавками диборида титана в различном процентном соотношении и исследование закономерностей влияния этих добавок на формирование структурно-фазового состава порошков и получаемых из них покрытий.

Для получения композиционных порошковых материалов в качестве основы использовался промышленный самофлюсующийся сплав на никелевой основе марки ПР-НХ16СР3 (ОАО «Полема», Россия). В качестве упрочняющей фазы применяли порошок диборида титана (ТУ 6-09-03-7-75). Гранулометрический состав порошка ПР-НХ16СР3 контролировался методом ситового анализа и составлял - 40 мкм. 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 размолы размер частиц TiB₂ определяли на лазерном анализаторе SK Laser Micron Sizer PRO 7000, средний размер составлял 2.5-2.7 мкм.

Конгломерированные порошки получали путем смешивания исходных компонентов в среде спирта с последующим брикетированием и спеканием в вакууме в печи СШВЛ. Полученные спекы дробили и затем классифицировали на ситах. Для плазменного напыления использовали фракцию - 100 + 63 мкм. Такая технология получения композиционных порошков более трудоёмкая по сравнению с конгломерированием на органических связующих. Однако, она позволяет получать материалы и покрытия из них со значительно меньшим количеством оксидных плёнок вокруг частиц, что приводит к увеличению когезионной прочности и плотности покрытий, а следовательно, снижает выкрашивание макрочастиц и повышает износостойкость покрытий. При жидкофазном спекании мелкодисперсные частицы TiB₂ оказываются внутри макрочастиц композиционного материала. Они прочно связаны с материалом матрицы и защищены от окисления в процессе плазменного напыления, тем самым обеспечивается высокая когезия упрочняющей фазы и твёрдость покрытия. Достоинством данной технологии является и то, что

ещё на стадии получения композиционного порошкового материала, варьируя режимами спекания можно управлять структурно-фазовым составом получаемых из него плазменных покрытий.

С целью исследования влияния мелкодисперсных добавок TiB_2 на структуру, фазовый состав и технологические свойства конгломерированных порошков и покрытий на основе Ni-Cr-Si-B в данной работе выбрано три состава с различным весовым процентным содержанием TiB_2 : НХТБ10 (ПР-НХ16СР3+10% TiB_2), НХТБ20 (ПР-НХ16СР3+20% TiB_2) и НХТБ40 (ПР-НХ16СР3 + 40% TiB_2). Объёмное соотношение соответственно составляет: НХТБ10 - 17% TiB_2 ; НХТБ20 – 32% TiB_2 ; НХТБ40 – 56% TiB_2 .

Важными технологическими свойствами порошков для напыления и наплавки являются насыпной вес и текучесть. Текучесть полученных порошков определялась с помощью калиброванной воронки (прибора Холла) в соответствии с ГОСТ 20899-98, а насыпной вес в соответствии с ГОСТ 19440-94. Результаты измерений представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что с увеличением количества TiB_2 , снижается насыпной вес и текучесть порошков, однако все полученные составы обладают достаточно хорошей текучестью и пригодны для использования в технологии плазменного напыления.

Таблица 1. Насыпной вес и текучесть порошков НХТБ

Технологический параметр	Порошковый материал (-100 + 63 мкм.)			
	ПР-НХ16СР3	НХТБ - 10	НХТБ - 20	НХТБ - 40
Текучесть (с)	22	30	41	54
Насыпной вес (г/см ³)	4,8	4,4	3,9	3,6

Плазменное напыление покрытий из порошков ПР-НХ16СР3 и разработанных композиционных материалов НХТБ осуществляли на плазменной установке УПУ-3Д с камерой - манипулятором 15ВБ, в открытой атмосфере (APS), с использованием в качестве плазмообразующего газа смеси аргона и водорода. Покрытия наносили на подложки из стали, предварительно подвергая их струйно-абразивной обработке. Для увеличения адгезионной связи материала покрытия с подложкой использовали промежуточный слой из терморегулирующего материала ПТЮ5Н. Режимы нанесения покрытий представлены в таблице 2.

Химический состав и структуру порошков исследовали с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ-106), а фазовый состав и распределение элементов в покрытии при помощи анализаторов JEOL JAMP 9500 и Camebax SX50.

Микротвердость полученных покрытий определяли на приборе ПМТ-3 вдавливанием алмазной пирамиды Виккерса при нагрузке 0,05Н.

Таблица 2. Состав порошковых материалов и режимы их напыления

№ п/п	Материал покрытия	Состав, %.	Фракция, мкм	Напряжение, В	Ток, А	Расход плаз-мообр. газа, л/мин	Дистанция нап., мм	Толщина покр. мм.
1	ПР-НХ16СР3	Cr-16, В-2.7, Si-3.2, С-0.75, Fe<5, Ni – ост.	-100 +63	65	450	45	160	0,7
2	НХТВ-10	ПР-НХ16СР3 +10% TiB_2	-100 +63	65	450	40	160	0,6
3	НХТВ-20	ПР-НХ16СР3 +20% TiB_2	-100 +63	65	480	40	160	0,5
4	НХТВ-40	ПР-НХ16СР3 +40% TiB_2	-100 +63	70	500	40-42	160	0,25

Структура и химический состав порошков НХТБ 10 – 40 представлен на рисунках 1и 2 и таблице 3. Из таблицы 3 видно, что химический состав всех порошков соответствует заданному, незначительные отклонения связаны с тем, что в полном объёме не учтены лёгкие элементы – бор и углерод, а так же методическая ошибка измерительного прибора. Из рисунков хорошо видно, что частички композиционных порошков имеют неправильную форму, характерную для измельченных материалов, и представляют собой конгломераты металлической фазы на основе никеля и более

мелких зёрен упрочняющей фазы. Основная масса включений диборида титана имеет размер до 1 мкм, также присутствуют отдельные зерна TiB_2 размером 2-5 мкм (Рис.1-2, Табл.3, Спектр 1,6). В металлической фазе на основе никеля химическим анализом обнаружено наличие титана, а количество хрома в сплаве значительно меньше по сравнению с исходным содержанием (Рис.1-2, Табл.3, Спектр 3, 4). Это может свидетельствовать о том, что при жидкофазном спекании мелкие частички TiB_2 в небольших количествах растворяются в металлической матрице, а образовавшийся излишек бора взаимодействует с хромом образуя бориды, которые были обнаружены в виде отдельных частиц с небольшим содержанием никеля и титана (Рис.1-2, Табл.3, Спектр 2, 5). Очевидно, что при спекании порошков происходит рост карборидных фаз хрома из расплава, их консолидация в блоки с одновременным обеднением никелевой матрицы. Общее количество хрома по всей поверхности порошков практически соответствует его содержанию в исходном порошке (Табл. 3). С увеличением в исходных смесях количества TiB_2 и температуры спекания, содержание титана в никель-хромовом сплаве возрастает, что свидетельствует об интенсификации процессов растворения и образования сложных боридов.

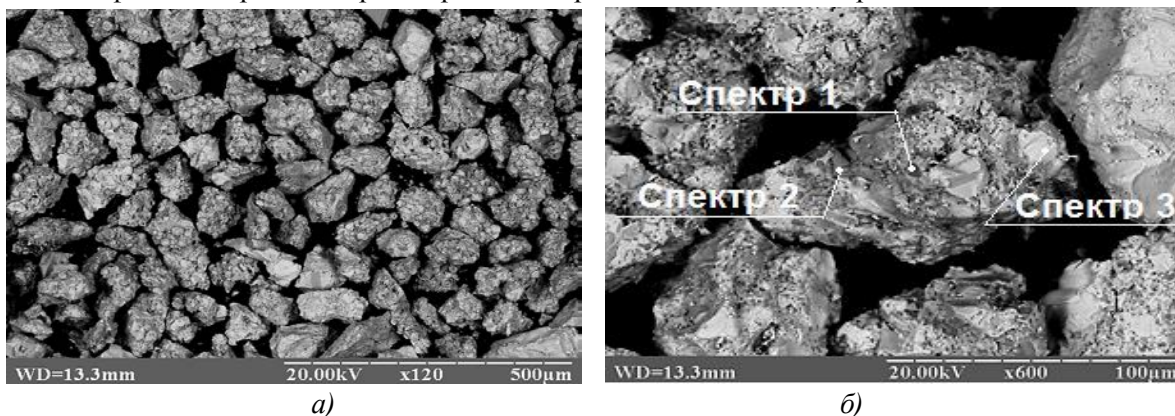


Рис. 1. Композиционный порошок НХТБ20: а) увеличение $\times 120$; б) увеличение $\times 600$

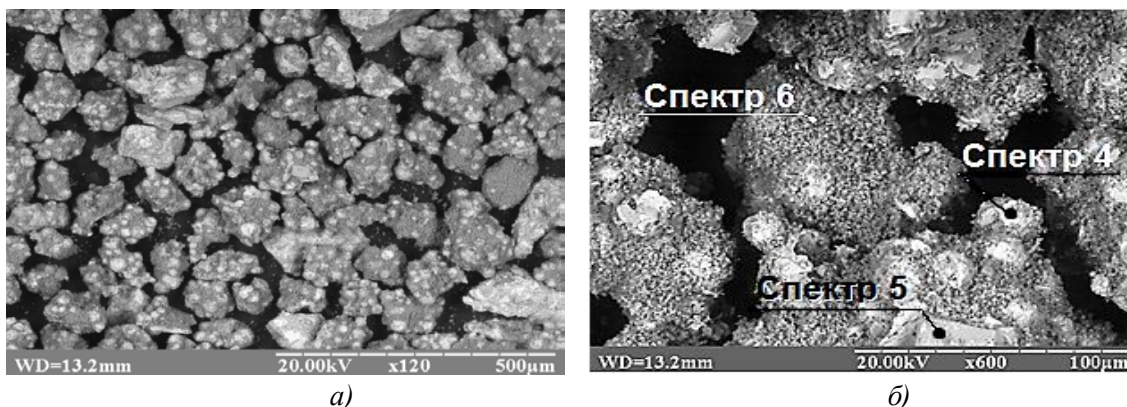


Рис. 2. Композиционный порошок НХТБ40: а) увеличение $\times 120$; б) увеличение $\times 600$

Таблица 3. Химический состав композиционных порошков НХТБ 10-40

Порошок	Концентрация элементов, мас.%				
	Ti	Ni	Cr	Fe	Si
НХТБ-10	12,5	64,4	15,7	4,4	3,0
НХТБ-20	22,9	54,1	14,8	5,1	3,1
НХТБ-40	49,8	36,0	9,7	3,0	1,5
Спектр 1	75,8	16,9	6,3	0,1	0,9
Спектр 2	16,5	28,5	50,5	3,1	1,4
Спектр 3	6,1	81,4	4,4	3,9	4,2
Спектр 4	16,0	73,4	5,2	4,6	0,8
Спектр 5	12,6	10,6	70,5	5,1	1,2
Спектр 6	89,1	5,2	2,5	3,0	0,2

Для изучения структуры плазменных покрытий были приготовлены поперечные шлифы. Структура и фазовый состав покрытия ПР-НХ16-СР3 представлен на рисунке 3, НХТБ10 – 40, на рисунке 4 а-е, химический состав в таблице 4, а распределение элементов на рисунке 5 а-г.

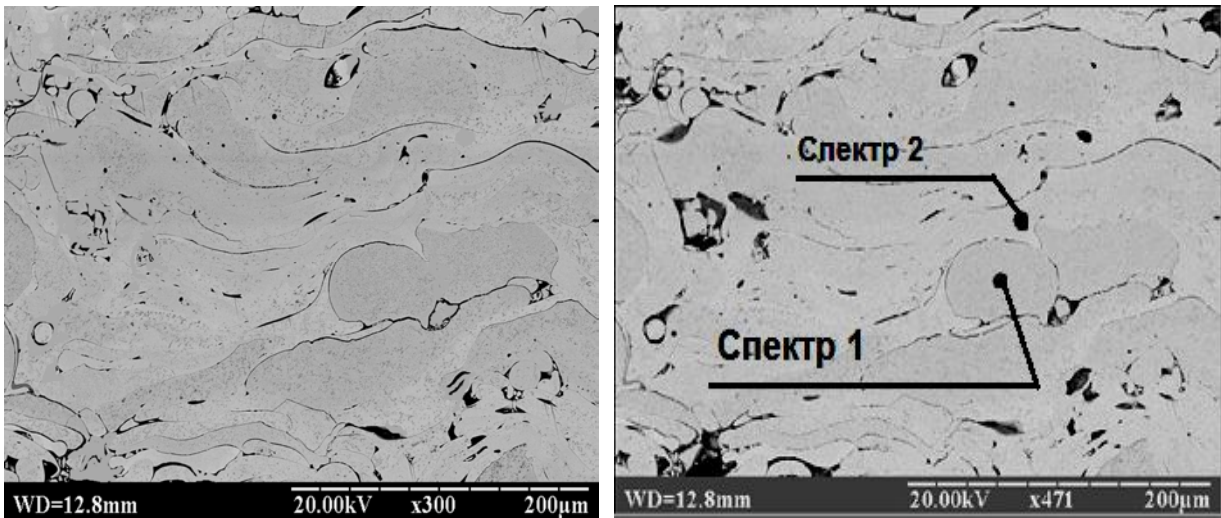
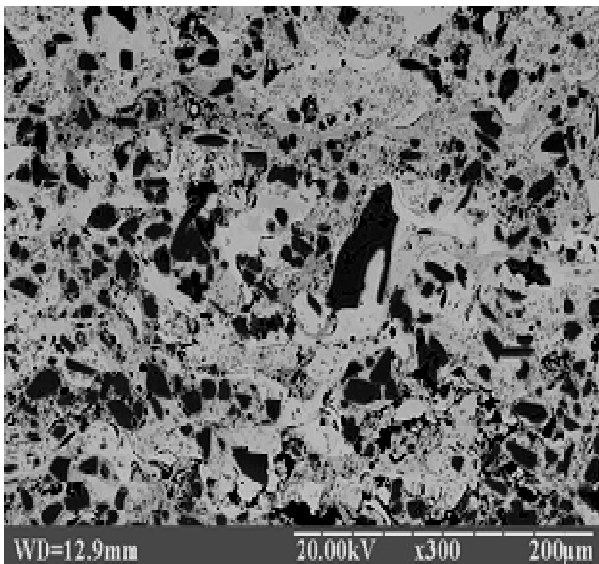
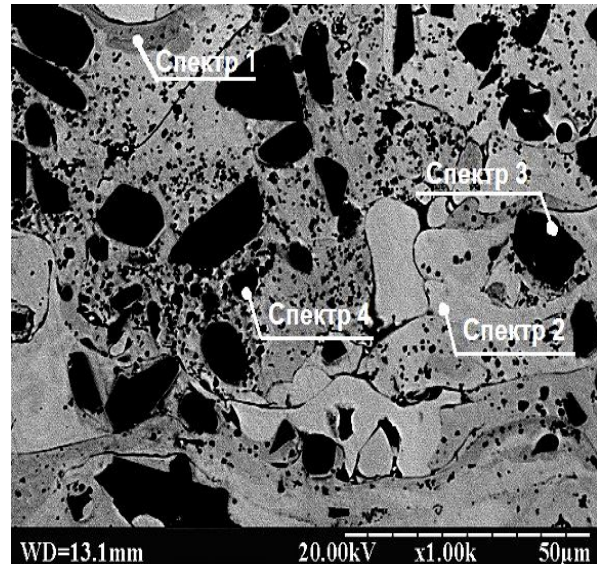


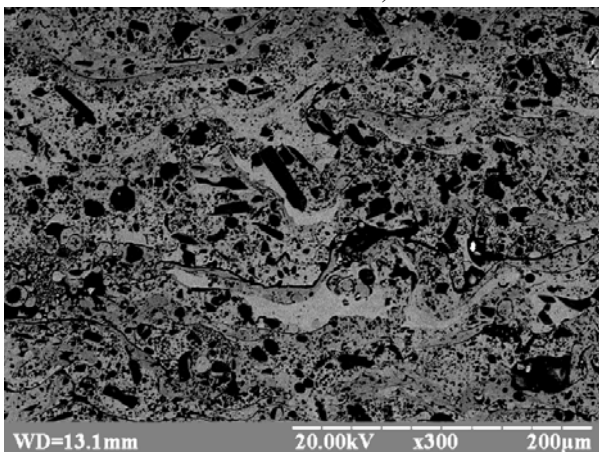
Рис. 3. Структура и фазовый состав плазменного покрытия ПР-НХ16СР3



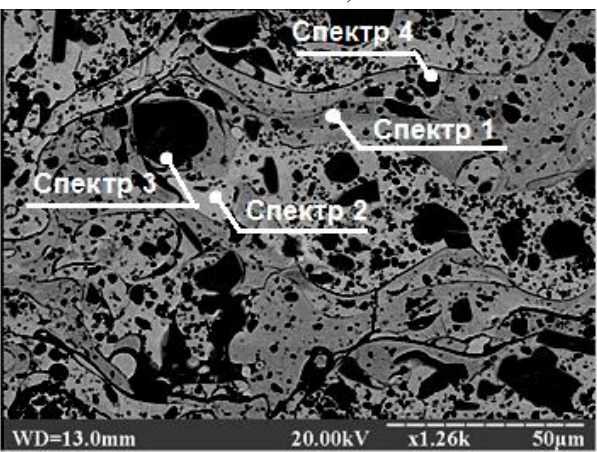
а)



б)



в)



з)

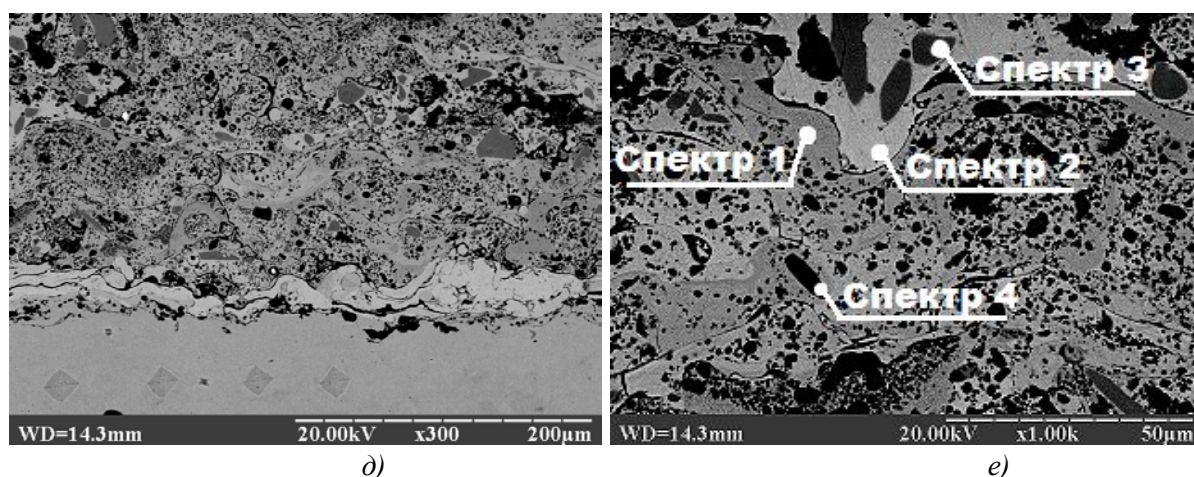


Рис. 4. Структура и фазовый состав плазменных покрытий:
а, б) НХТБ10; в, г) НХТБ20; д, е) НХТБ40

Металлографические исследования показали, что все покрытия довольно плотные, хорошо прилегают к основе, имеют типичную для плазменного напыления волнистую ламелеобразную структуру, однако в покрытии из сплава ПР-НХ16СР3 ламели более ярко выражены, подчеркнуты оксидными плёнками.

Таблица 4. Химический состав покрытий ПР-НХ16СР3, НХТБ

Материал	Спектры	Концентрация элементов, масс. %						
		В	С	Ti	Ni	Cr	Fe	Si
ПР-НХ16СР3	Спектр 1	2,5	0,7	-	73,3	15,5	3,9	4,1
	Спектр 2	2,2	0,5	-	74,8	15,7	3,0	3,8
НХТБ10	Спектр 1	2,3	0,4	4,5	65,7	15,8	5,3	6,0
	Спектр 2	0,5	0,5	0,9	82,0	2,3	5,3	8,5
	Спектр 3	13,6	0,5	0,6	2,1	81,6	1,6	0,0
	Спектр 4	25,3	0,5	70,8	1,5	0,7	1,2	0,0
НХТБ20	Спектр 1	3,3	0,9	5,6	71,8	14,7	2,9	0,8
	Спектр 2	0,5	0,5	0,6	84,2	0,9	2,7	10,6
	Спектр 3	14,8	0,6	1,5	2,8	79,0	1,3	0,0
	Спектр 4	28,0	0,9	69,6	0,6	0,6	0,3	0,0
НХТБ40	Спектр 1	2,2	0,6	8,4	62,6	15,6	6,2	4,4
	Спектр 2	0,6	0,3	7,3	74,7	7,5	6,9	2,7
	Спектр 3	14,2	0,3	1,4	2,2	80,1	1,8	0,0
	Спектр 4	26,5	0,5	70,5	1,4	0,7	0,4	0,0

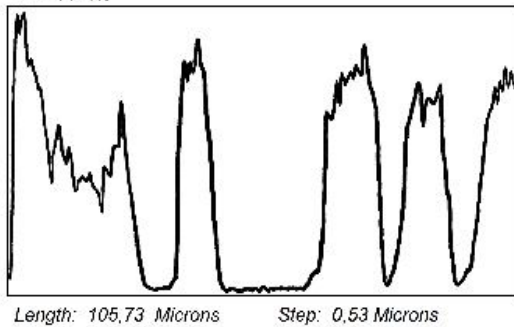
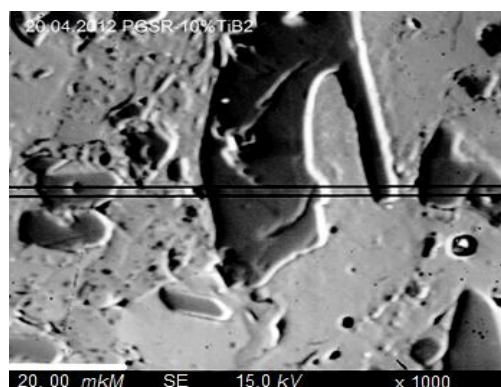
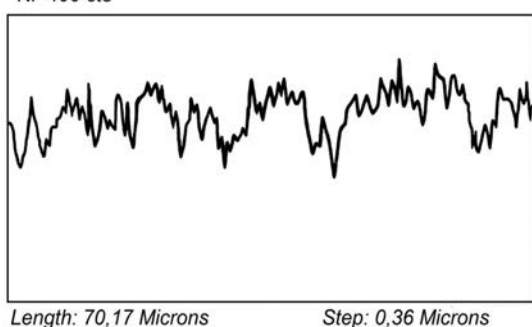
Это связано с наличием оксидов никеля и хрома на поверхности частиц, образовавшихся при промышленном производстве порошков методом распыления воздухом, с процессами окисления частичек порошка при напылении из-за подсоса воздуха из атмосферы в плазменную струю, а так же из-за взаимодействия при нагреве с кислородом адсорбированным на их поверхности. Порошки НХТБ, прошедшие жидкофазное спекание в вакууме, очистились при переплавке и вследствие этого в покрытиях оксидных плёнок меньше. Таким образом улучшается когезионная связь микрочастиц в покрытии и снижается склонность к их выкрашиванию в процессе трения. Структура покрытия ПР-НХ16СР3, как видно из рисунка 3 и таблицы 4, однофазная, крупнозернистая. Микротвёрдость на разных участках примерно одинаковая и находится в пределах $7,1 \pm 0,18$ ГПа. Покрытия НХТБ (рисунок 4, а-е) отличаются тем, что имеют гетерофазную структуру, характерную для композитов – в металлической матрице равномерно распределены зёрна светло-серого и тёмно-серого цвета. Металлическая матрица неоднородна, в ней наблюдаются тёмные и светлые участки. Их микротвёрдость изменяется в пределах 10,8 – 12,6 ГПа и 6,6 – 7,7 ГПа., соответственно. Из таблицы 4 видно, что более тёмные участки (спектр 1) по химическому составу представляют собой исходный сплав ПР-НХ16-СР3 легированный титаном. Светлые участки (спектр 2) – исходный сплав на никелевой основе обеднённый хромом и

легированный титаном в незначительных количествах. Уменьшение количества хрома в сплаве связано с образованием новой фазы светло-серого цвета, отсутствующей в покрытии из исходного материала.

МикродюрOMETрические исследования, химический и спектральный анализ (рисунок 4 б, г, е, таблица 4 – спектр 3 и рисунки 5 б-г, 6 а, б) позволяют идентифицировать эту фазу как сложный борид хрома, легированный титаном, железом и, предположительно, углеродом.

Микротвёрдость светло-серой фазы составляет – 22,9 – 25,4 МПа, что значительно выше микротвёрдости чистых боридов и карбидов хрома согласно литературным данным [9, 12]. Таким образом, в покрытии увеличилось количество упрочняющих фаз не только за счёт вводимой упрочняющей добавки, но и за счёт синтеза новых фаз сложного состава повышенной микротвёрдости. Из рисунка 4 так же видно, что количество и средний размер образовавшихся фаз меняется в зависимости от процентного содержания TiB_2 в покрытии. В материале НХТБ10 их размер находится в пределах 10 - 60 мкм., а объёмное количество, измеренное методом секущих (метод Розиваля) – 16%, НХТБ20 – 5 - 40 мкм. и 19%, НХТБ40 – 5 – 25 мкм. и 10% соответственно. Видно что с увеличением в составе количества TiB_2 от 10 до 20% увеличивается и количество новых фаз. При дальнейшем увеличении TiB_2 до 40% в композиции уменьшается количество металлической составляющей и начинает сказываться нехватка хрома – основного фазообразующего элемента и объём новых фаз уменьшается. Уменьшение размера зерна боридных фаз можно объяснить тем, что с увеличением количества включений TiB_2 в металлической матрице значительно увеличивается количество мелких частиц, механически препятствующих росту зерна, а так же, возможно, увеличивается количество центров кристаллизации при охлаждении при одновременном уменьшении количества хрома.

Микротвёрдость тёмно-серой фазы измерить не удалось из-за малого размера (основной размер до 5 мкм.), однако микроспектральный анализ (таблица 4-спектр 4, рисунок 4 б,г,е.) позволяет утверждать что это зёрна TiB_2 . В покрытии НХТБ40 (рисунок 4 д,е) в процессе приготовления шлифа на отдельных участках наблюдается выкрашивание целых блоков, очевидно из-за низкой когезионной связи частиц в плазменном покрытии. Это связано с тем, что объём вводимой в металлическую матрицу упрочняющей фазы имеет своё оптимальное значение и очевидно, что в данном случае количество в 40% масс. TiB_2 (объёмных - 57%) больше оптимального для плазменных покрытий. Металлического связующего недостаточно чтобы связать все частицы TiB_2 . Таким образом, меняя технологические параметры получения порошков системы (Ni-Cr -Si-B) - TiB_2 (температуру спекания, время выдержки, скорость нагрева и охлаждения и т.д.), а так же количество и размер вводимой добавки, можно управлять химическим составом фаз в покрытии, их микротвёрдостью, количеством и размером, тем самым добиваться повышенной износостойкости покрытий.



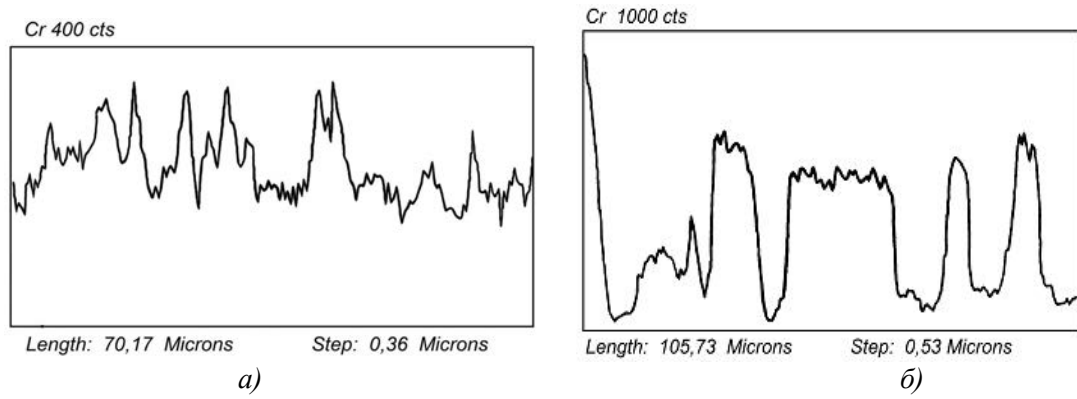


Рис. 5. Структура и распределение элементов Cr, Ni в покрытиях:
а) ПР-НХ16-СР3; б) НХТБ10

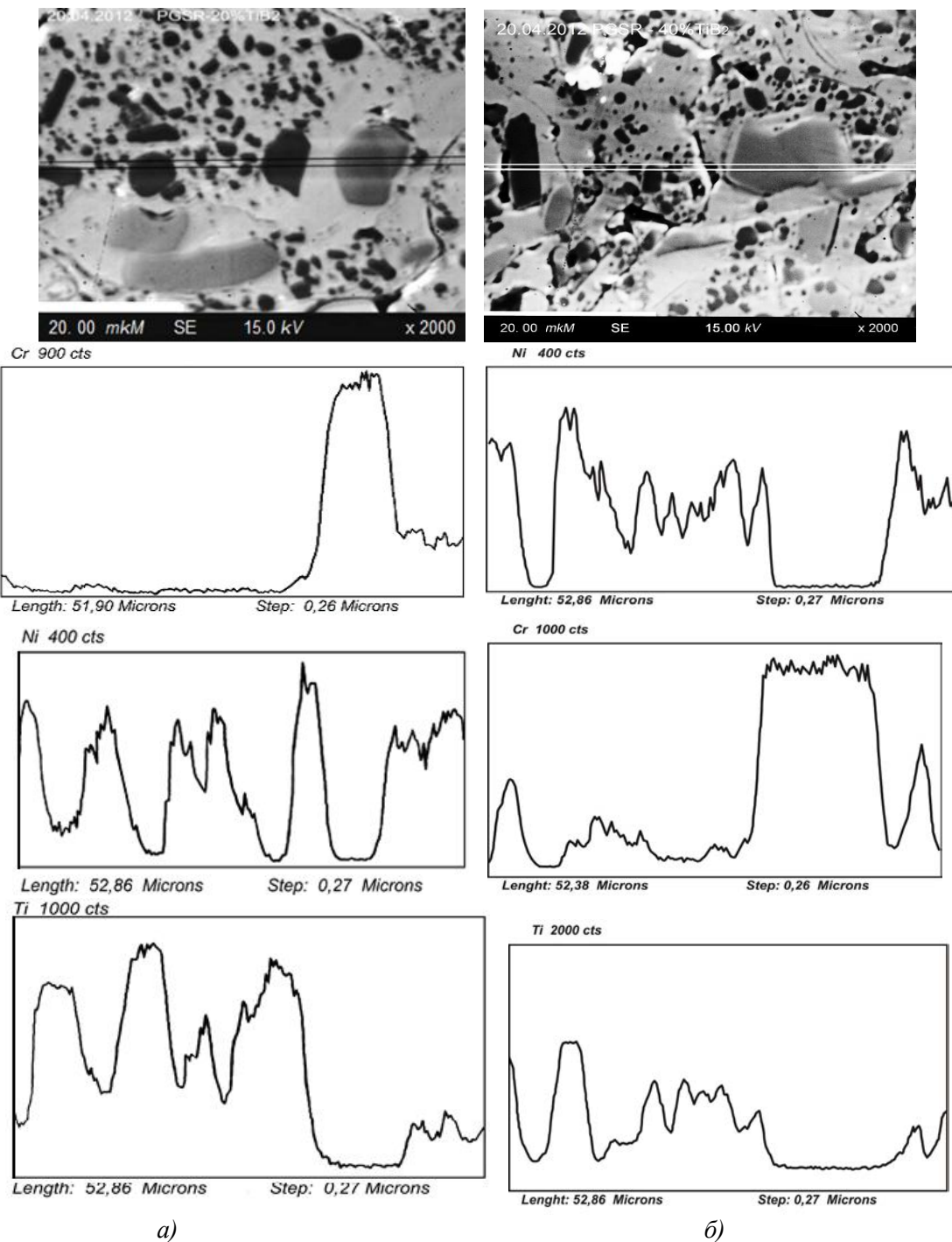


Рис. 6. Структура и распределение элементов Cr, Ni, Ti в покрытиях: а) НХТБ20; б) НХТБ40
© О.П.Уманський, О.Є.Терентьев, М.С. Стороженко, І.С. Марценюк

Выводы: В результате выполнения данной работы методами порошковой металлургии получены композиционные порошковые материалы для газотермического напыления на основе самофлюсующегося сплава (Ni-Cr-Si-B-C) с добавками TiB_2 в количестве 10 – 40%, а так же отработаны оптимальные режимы их нанесения плазменным способом и получены опытные образцы покрытий. Исследованы закономерности влияния этих добавок на формирование структурно-фазового состава порошков и получаемых из них покрытий.

Установлено, что порошки НХТБ, прошедшие жидкофазное спекание в вакууме, очищаются при переплавке, вследствие чего в покрытиях уменьшается содержание оксидных плёнок и улучшается когезионная связь микрочастиц в покрытии, что приводит к снижению их выкрашивания в процессе трения.

Установлено, что во время высокотемпературного жидкофазного спекания порошковых материалов НХТБ, в расплаве металлической составляющей композиции (Ni-Cr-Si-B-C) - TiB_2 происходит образование и консолидация в блоки новых фаз на основе сложных боридов хрома с повышенной микротвёрдостью. Эти процессы обусловлены частичным растворением диборида титана и появлением в расплаве избыточного количества бора, который взаимодействует с хромом матрицы. Таким образом меняя технологические параметры спекания порошков, количество и состав добавок можно управлять составом и количеством этих фаз, а значит и служебными характеристиками плазменных покрытий.

Определено оптимальное количество вводимой упрочняющей добавки TiB_2 для плазменных покрытий в системе (Ni-Cr-B-Si-C) - TiB_2 . Для порошков НХТБ - это состав НХТБ20 с содержанием TiB_2 20% весовых (32% объёмных). Дальнейшее увеличение количества упрочняющей фазы может привести к повышению хрупкости плазменных покрытий из-за недостатка в сотаве пластичной металлической связки. Кроме того, уменьшение в композиции металлического связующего приводит к снижению количества синтезированных карбоборидных фаз с повышенной микротвёрдостью.

Покрытия из материалов НХТБ отличаются высокой плотностью, обладают гетерофазной структурой с большим количеством высокопрочных и твёрдых дисперсноупрочняющих включений и могут быть рекомендованы для использования в узлах трения с повышенной износостойкостью. Изучение стойкости к износу разработанных покрытий в различных условиях эксплуатации, является предметом дальнейших исследований авторского коллектива.

1. Гадалов В.Н., Самойлов В.В., Лыткин А.И. Электроискровые покрытия из самофлюсующихся материалов на никелевой основе на быстрорежущей стали // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 5 – С. 43-45
2. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазменные порошковые покрытия / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова. – К.: Техніка, 1986. – 233 с.
3. Борисов Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов: справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – К.: Техніка, 1987. – 544 с.
4. Гершензон С.М., Толстов Н.А., Клинская Н.А. и др. Исследование износостойких покрытий на основе никелевых сплавов в условиях гидроабразивного изнашивания // В сб. Повышение качества и эффективности процессов сварки и наплавки. Киев. – 1984. С. 58-59.
5. Клинская-Руденская Н.А., Кузьмин Б.П. О влиянии тугоплавких добавок на структуру и свойства покрытий из самофлюсующихся сплавов ПГ-10К-01 и ПГСР-3 // Физика и химия обработки материалов. 1996. – №1. С. 55-61.
6. Ютиская-Руденская Н.А., Копысов В.А., Коцот С.В. Особенности композиционных покрытий на основе Ni-Cr-B-Si сплавов. Исследование износостойкости покрытий // Физика и химия обработки материалов. 1994. – № 6. С. 52-57.
7. 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.
8. Клинская-Руденская Н.А., Копысов В.А. Сравнительный анализ композиционных покрытий на основе сплавов Ni-Cr-B-Si с тугоплавкими боридами, полученными различными способами // Физика и химия обработки материалов. 1995. №3. С. 63-68.
9. Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения: справочник / Г.В. Самсонов, И.М. Винницкий – М.: Металлургия, 1976. – 557 с.
10. Кудинов В.В. Плазменные покрытия, - М., Наука, 1977. – 184 с.
11. Хасуй А. Наплавка и напыление/ Хасуй А., Моригаки О. – М. Машино-строение, 1985. – 238 с.
12. Иванько А.А. Твёрдость. Справочник. – Киев, Наукова думка, 1968. – 127 с.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2013.