

УДК 620.198:533.9 (045)

**А.П. УМАНСКИЙ<sup>1</sup>, А.Е. ТЕРЕНТЬЕВ<sup>1</sup>, М.С. СТОРОЖЕНКО<sup>2</sup>, В.М. КИСЕЛЬ<sup>1</sup>,  
Ю.И. ЕВДОКИМЕНКО<sup>1</sup>, В.Т. ВАРЧЕНКО<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Институт проблем материаловедения НАН, Киев, Украина*<sup>2</sup> *Национальный авиационный университет, Киев, Украина***ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК ДИБОРИДА ТИТАНА НА СТРУКТУРУ  
И СВОЙСТВА HVOF - ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ (Ni-Cr-Si-B) – TiB<sub>2</sub>**

*Рассмотрены вопросы повышения износостойкости покрытий, полученных методом высокоскоростного воздушно-топливного напыления, из самофлюсующихся сплавов на никелевой основе путём введения в состав исходных порошков добавок диборида титана. Методами порошковой металлургии получали композиционные порошки НХТБ на основе серийно выпускаемого порошка ПР-НХ16СРЗ с добавками 10, 20 и 40 мас.% TiB<sub>2</sub>. Исследовано влияние этих добавок на структуру и свойства полученных покрытий. Установлено, что при напылении таких порошков методом HVOF формируются покрытия с гетерофазной структурой - в матрице на основе никелевого сплава равномерно распределены зерна диборида титана и боридов хрома. Покрытия отличаются высокой плотностью и низким содержанием оксидных включений. Представлены результаты триботехнических испытаний полученных покрытий в условиях трения скольжения без смазки.*

**Ключевые слова:** самофлюсующийся сплав, покрытие, высокоскоростное воздушно-топливное напыление, диборид титана, структура, микротвёрдость, износостойкость.

**Введение**

Разработка и создание новых современных двигателей в настоящее время практически невозможно без применения в них различного вида защитных покрытий, которые позволяют повысить рабочие температуры отдельных деталей, защитить их от высокотемпературной коррозии, увеличить износостойкость узлов и ресурс двигателя в целом. Газотермические технологии нанесения покрытий широко применяются ведущими мировыми производителями в двигателестроении [1, 2]. Перспективными являются технологии высокоскоростного воздушно-топливного напыления с использованием смеси воздуха и жидкого топлива или газа (HVOF - High Velocity Air-Fuel spraying process) [3, 4]. Особенно эффективно применение этой технологии для нанесения покрытий из композиционных материалов на основе тугоплавких соединений. Высокие скорости потока уменьшают время пребывания находящихся в нём частиц карбидов и боридов и, соответственно, их окисление. Приобретённая частицами высокая кинетическая энергия, при их ударе о подложку превращается в тепловую и частицы остаются более пластичными в процессе формирования покрытия, обеспечивая высокую адгезионную и когезионную связь и плотность покрытия.

Одним из перспективных направлений создания новых материалов для газотермических покрытий является получение композиционных порошков

различных типов [5 – 7]. В качестве исходных материалов для композиционных порошков широкое применение нашли высоколегированные самофлюсующиеся сплавы системы NiCrSiB и дисперсные добавки в виде тугоплавких соединений (WC, TiC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, TiB<sub>2</sub>, CrB, CrB<sub>2</sub> и т.п.) [6, 8 – 11]. Добавки карбидов и боридов позволяют существенно повысить износостойкость покрытий из самофлюсующихся сплавов. Однако практически все приведенные материалы являются механическими смесями и у них есть существенный недостаток. В процессе их напыления в потоке происходит сегрегация компонентов обладающих различной плотностью, формой и размером. Это приводит к неоднородности состава покрытия и снижению служебных свойств. Избегать подобных недостатков позволяют технологии конгломерирования [12]. Высококачественные композиционные порошковые материалы получают методом спекания в вакууме с последующим измельчением до нужных фракций. Кроме исключения сегрегации в процессе напыления этот метод позволяет защитить мелкодисперсные добавки от воздействия кислорода окружающей среды и очистить исходные материалы от оксидов, образовавшихся на их поверхности при производстве.

В качестве упрочняющей фазы для покрытий системы NiCrSiB перспективным является диборид титана, который обладает высокой твердостью и износостойкостью [13] и для его производства на Украине имеются достаточные запасы сырья.

Целью настоящей работы является разработка технологии получения композиционных порошков на основе самофлюсующегося сплава NiCrSiB с дисперсными добавками диборида титана для высокоскоростного воздушно-топливного напыления и исследование закономерности влияния этих добавок на структурообразование, фазовый состав и свойства получаемых покрытий.

## 2. Методика и материалы

В качестве материалов для высокоскоростного напыления покрытий использовали промышленный порошок марки ПР-НХ16СР3 (ОАО «Полема», Россия) состава (мас.%): Cr-16, В-2.7, Si-3.2, С-0.75, Fe<5, Ni – ост. и разработанные композиционные порошки НХТБ10, НХТБ20 и НХТБ40 на основе сплава ПР-НХ16СР3 с добавками 10, 20 и 40 мас.% TiB<sub>2</sub> соответственно. Для напыления использовалась фракция порошков ПР-НХ16СР3 и НХТБ (-63 + 40) 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 TiB<sub>2</sub> 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 TiB<sub>2</sub> составлял 2.5-2.7 мкм.

Композиционные конгломерированные порошки НХТБ получали путем смешивания исходных компонентов с последующим спеканием в вакууме, измельчением и классификацией по технологии описанной в работе [14]. Нанесение покрытий производилось методом высокоскоростного воздушно-топливного напыления горелкой ГВО-2РВ на топливной паре воздух – керосин при стехиометрическом соотношении компонентов. Давление в камере сгорания составляло 1,0 МПа, расход порошка –  $4,5 \pm 0,5$  г/с. Покрытие наносилось за четыре прохода пятна напыления со скоростью перемещения 70 мм/с.

Фазовый состав, структуру порошков и покрытий исследовали с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ 106. Химический анализ элементов в покрытии проводили при помощи анализатора JEOL JAMP 9500.

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

Испытания на адгезионную прочность покрытий проводили на разрывной машине 1231У-10.

Количественный анализ пористости покрытий проводили с помощью специализированного материаловедческого комплекса SIAMS.

Триботехнические испытания проводили в условиях трения скольжения без смазки по схеме вал – частичный вкладыш на машине трения М-22м, разработки ИПМ им. И.Н. Францевича НАН Украины. В качестве контртела (вал) использовали диск из закалённой стали 65 Г.

## 3. Результаты исследований и их обсуждение

Морфология, химический и фазовый состав, а также свойства порошков НХТБ подробно описаны в работе [14]. Каждая частичка порошка представляет собой композит, состоящий из металлической матрицы из сплава на основе никеля с равномерно распределёнными в ней зёрнами упрочняющих фаз боридов хрома и диборида титана (рисунок 1).

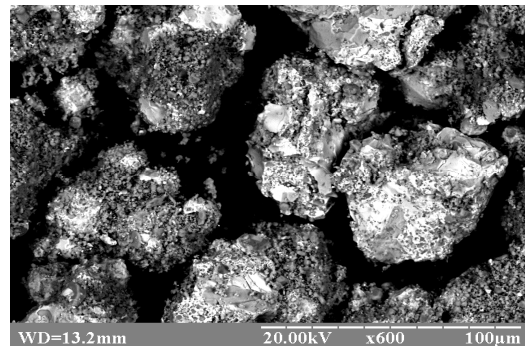


Рис. 1. Композиционный порошок НХТБ

Полученные покрытия имеют однородную поверхность с шероховатостью в пределах Rz40 – Rz80. Толщина покрытий составила 160 – 250 мкм. Из напыленных образцов были изготовлены поперечные шлифы для металлографических исследований.

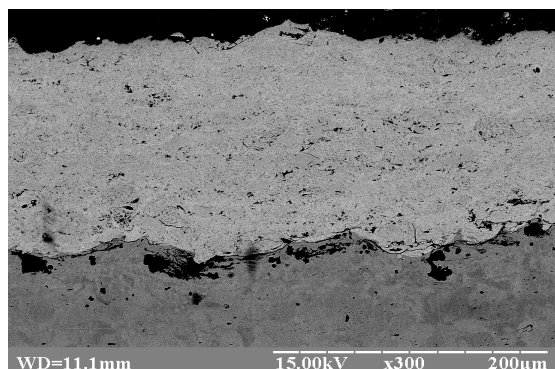
Структура и фазовый состав полученных покрытий представлен на рисунках 2 – 5 и в табл. 1. Из рисунков видно, что покрытия образованы твердыми частицами, претерпевшими в момент высокоскоростного соударения пластическую деформацию и имеющими вследствие этого характерную куполообразную форму. Микроструктура покрытий отличается высокой однородностью и бездефектностью, границы между образующими их частицами почти не различимы. Покрытия плотно прилегают к подложке с минимальным количеством дефектов на границе.

Пористость покрытия составляет менее 1%, на некоторых полях измеренная пористость оказывается меньше погрешности ее определения. Измеренные штифтовым методом значения адгезионной прочности покрытий составили 100 -110 МПа.

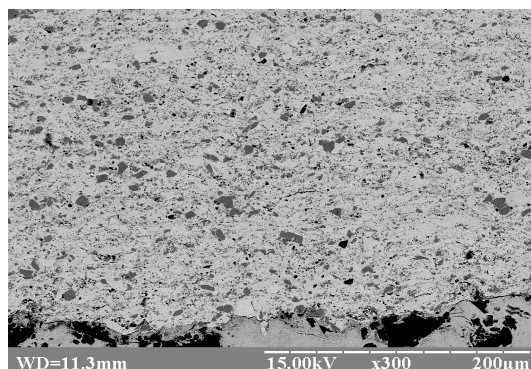
Из рисунков видно, что покрытие из сплава ПР-НХ16СР3 фактически однофазное. Небольшое различие в цвете отдельных участков покрытия свя-

зано с незначительной неоднородностью химического состава исходного материала. Микротвёрдость на разных участках примерно одинаковая и находится в пределах  $6,2 \pm 0,1$  ГПа. Покрытия из порошков НХТБ 10 – 40 имеют гетерофазную, мелкозернистую структуру. Металлическая матрица представляет собой сплав на основе никеля (табли-

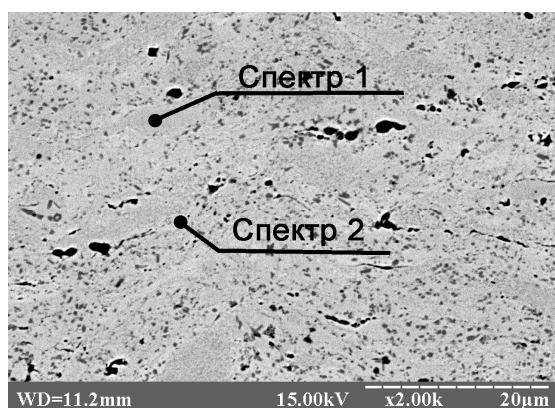
ца 1, спектры 3,6,9) и имеет микротвёрдость в пределах 5,9 – 9,3 ГПа. Разброс в значениях микротвёрдости связан с неравномерным распределением в сплаве матрицы хрома, железа и кремния, а также за счёт легирования её титаном (спектр 9) из-за частичного растворения в матрице диборида титана при получении порошкового материала.



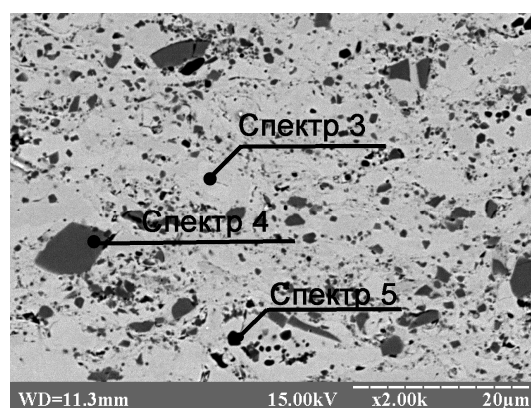
а



а



б



б

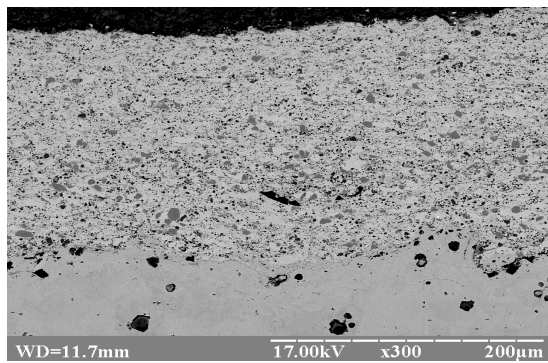
Рис. 2. Структура (а) и фазовый состав (б) покрытия из материала ПР-НХ16СР3

Рис. 3. Структура (а) и фазовый состав (б) покрытия из материала НХТБ-10

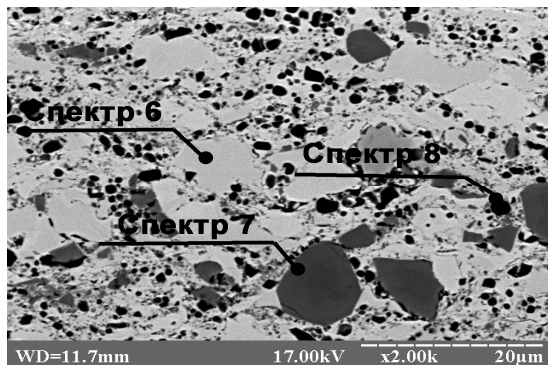
Таблица 1

Химический состав покрытий ПР-НХ16СР3, НХТБ

Материал	Спектры	Концентрация элементов, масс. %						
		<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Ti</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Si</b>
ПР-НХ16СР3	№ 1	2,5	0,7	-	73,3	15,5	3,9	4,1
	№ 2	2,2	0,5	-	74,8	15,7	3,0	3,8
НХТБ10	№ 3	0,5	0,5	0,9	82,0	2,3	5,3	8,5
	№ 4	13,6	0,5	0,6	2,1	81,6	1,6	0,0
	№ 5	25,3	0,5	70,8	1,5	0,7	1,2	0,0
НХТБ20	№ 6	0,5	0,5	0,6	84,2	0,9	2,7	10,6
	№ 7	14,8	0,6	1,5	2,8	79,0	1,3	0,0
	№ 8	28,0	0,9	69,6	0,6	0,6	0,3	0,0
НХТБ40	№ 9	0,6	0,3	7,3	74,7	7,5	6,9	2,7
	№ 10	14,2	0,3	1,4	2,2	80,1	1,8	0,0
	№ 11	26,5	0,5	70,5	1,4	0,7	0,4	0,0



а

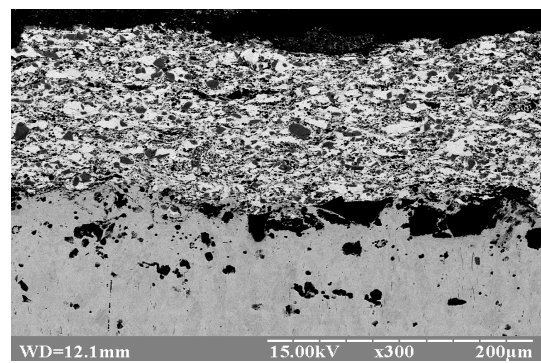


б

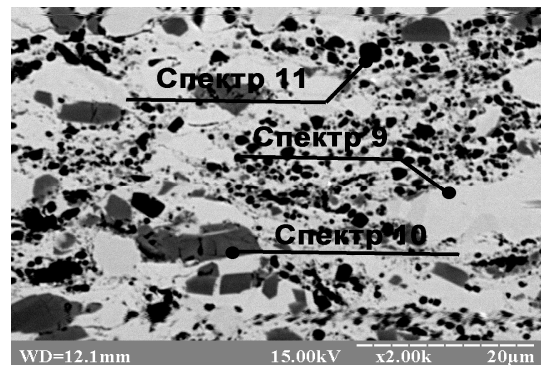
Рис. 4. Структура (а) и фазовый состав (б) покрытия из материала НХТБ-20

Снижение микротвёрдости матрицы до значений 5,9 ГПа связано с обеднением её хромом (спектры 3 и 6). Уменьшение количества хрома в сплаве связано с образованием новой фазы светло-серого цвета, отсутствующей в покрытии из исходного материала. Эта фаза присутствует во всех покрытиях НХТБ имеет микротвёрдость 12-15 ГПа и может быть идентифицирована как борид хрома (таблица 1, спектры 4, 7, 10) [15].

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 рис. 3 – 5 также видно, что количество и средний размер образовавшихся фаз меняется в зависимости от процентного содержания TiB<sub>2</sub> в покрытии. В материале НХТБ-10 их размер находится в пределах 5 – 10 мкм., а объёмное количество, измеренное методом секущих (метод Розиваля) – 16%, НХТБ-20 – 1 – 8 мкм. и 19%, НХТБ-40 – 6 – 10 мкм. и 10% соответственно. Видно, что с увеличением в составе количества TiB<sub>2</sub> от 10 до 20% увеличивается и объёмное количество новых фаз. При дальнейшем увеличении TiB<sub>2</sub> до 40% в композиции уменьшается количество металлической составляющей и начинает сказываться нехватка хрома – основного фазообразующего элемента и объём новых фаз уменьшается.



а



б

Рис. 5. Структура (а) и фазовый состав (б) из материала покрытия НХТБ-40

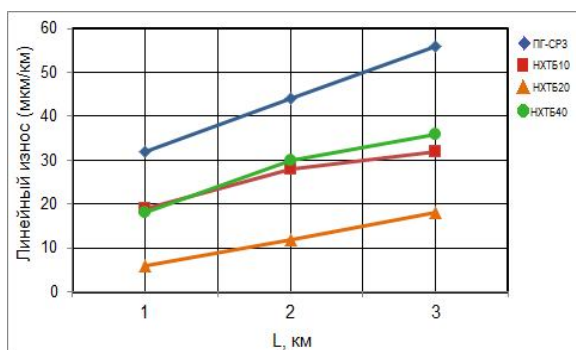
Изменение размеров зерен не столь значительно, как в случае напыления этих материалов плазменным способом [14]. Очевидно это связано с тем, что при плазменном напылении использовались порошки фракционного состава – 100 + 63 мкм. При таких размерах частиц существует возможность роста в них зерна до размеров 40-60 мкм.

Мелкодисперсная упрочняющая фаза TiB<sub>2</sub> представлена в покрытиях в виде включений тёмно-серого цвета (таблица 1, спектры 5,8,11). Размер включений меньше 2,5 мкм, поэтому микротвёрдость этой фазы измерить не удалось. Необходимо отметить, что распределение частиц диборида титана в покрытии НХТБ – 40 неравномерно. Мелкие зёрна TiB<sub>2</sub> сконцентрированы вокруг более крупных металлических участков, что не наблюдается в материалах НХТБ-10 и НХТБ-20. Этот эффект, возможно, объясняется тем, что материал НХТБ-40 спекается при более высоких температурах и при этом процесс растворения мелких частиц TiB<sub>2</sub> происходит более интенсивно. Это подтверждается повышением концентрации титана до 7,3% в сплаве матрицы (рис. 5, табл. 1, спектр 9).

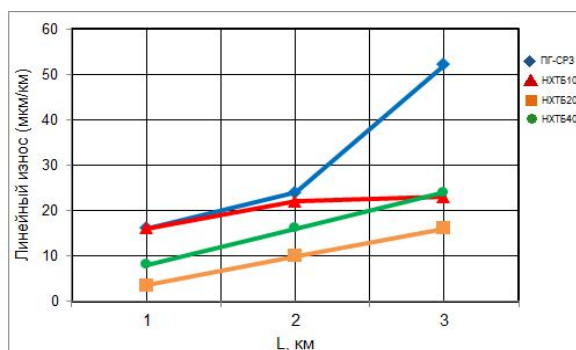
Триботехнические исследования проводили в условиях трения скольжения без смазки. Исследовались зависимости линейного износа пары от длины пути ( 3 км) при скоростях скольжения

$V = 0,5; 1; 3; 6$  м/с и постоянной нагрузке 1 МПа, а также зависимость коэффициента трения от пути и от скорости. Результаты исследований показали, что добавление в самофлюсующийся сплав дигорида титана приводит к существенному повышению износостойкости. Все покрытия из композиционных порошков НХТБ при разных скоростях скольжения имеют линейный износ в 3-5 раз меньше, чем покрытия из сплава ПР-НХ16СР3 (рис. 6). Наименьший износ у покрытия состава НХТБ-20 практически при всех скоростях скольжения, в связи с этим добавку дигорида титана в количестве 20% мас., можно считать оптимальной, с точки зрения триботехнических характеристик покрытия. Износостой-

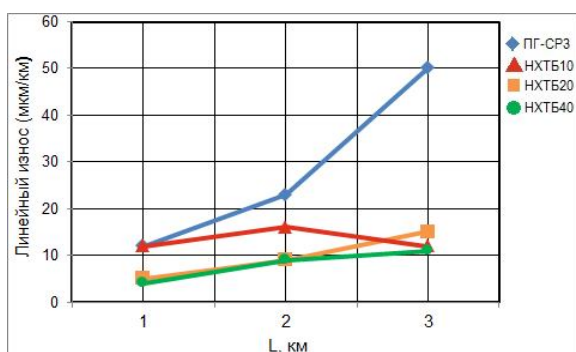
кость покрытий составов НХТБ10 и НХТБ40 близка по значениям при скоростях 0,5 и 6 м/с. и незначительно отличается при других скоростях скольжения. Для всех составов покрытий НХТБ оптимальной оказалась скорость 3 м/с. при этом износ составил 12-15 мкм/км. При дальнейшем увеличении скорости до 6 м/с у всех покрытий кроме НХТБ-20 износ увеличивается до 35-40 мкм/км. Износ покрытия НХТБ-20 составил 12 мкм/км, что позволяет говорить о его хорошей работоспособности в широком диапазоне скоростей. Более высокий износ покрытия НХТБ-10, возможно, объясняется недостаточностью упрочняющих фаз, а также схватыванием материала матрицы с контртелом.



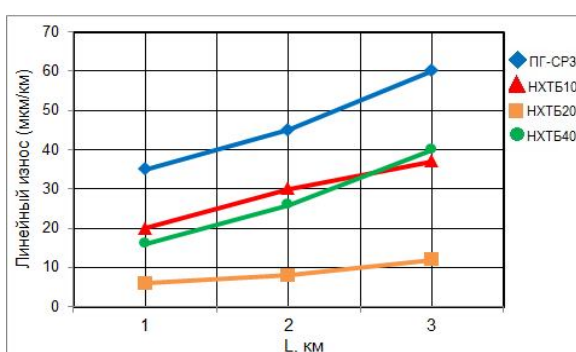
а



б



в



г

Рис. 6. Зависимость линейного износа пары «Покрытие – сталь ШХ15» от пути:  
а –  $V = 0,5$  м/с; б –  $V = 1$  м/с; в –  $V = 3$  м/с; г –  $V = 6$  м/с

В материале НХТБ-40 наоборот наблюдается избыток упрочняющей фазы и недостаток металла матрицы. Покрытие более хрупкое и при сухом трении в условиях повышенных контактных температур происходит выкрашивание микрочастиц упрочняющей фазы с одновременным снижением стойкости к износу.

Более точные выводы о причинах снижения износостойкости можно будет сделать после проведения микроструктурного анализа дорожек трения, что является предметом дальнейших исследований авторского коллектива.

Зависимости коэффициента трения покрытий от пути и скорости скольжения представлены на рис. 8 и 9. Из рисунков видно, что коэффициенты трения композиционных материалов НХТБ находятся в пределах 0,2 – 0,42, что ниже чем у исходного сплава ПР-НХ16СР3 – 0,5-0,6. Такие коэффициенты трения характерны для пар, работающих в условиях трения скольжения без смазки. При увеличении скорости скольжения коэффициент трения у композиционных материалов НХТБ снижается, тогда как у сплава ПР-НХ16СР3 после 3 м/с он начинает увеличиваться.

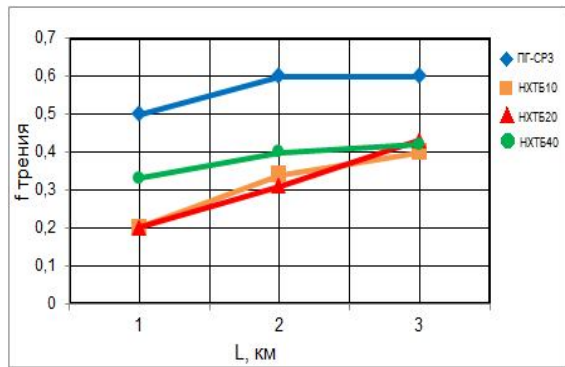


Рис. 8. Зависимость коэффициента трения покрытий ПР-НХ16СР3 и НХТБ от пути ( $V = 6$  м/с.)

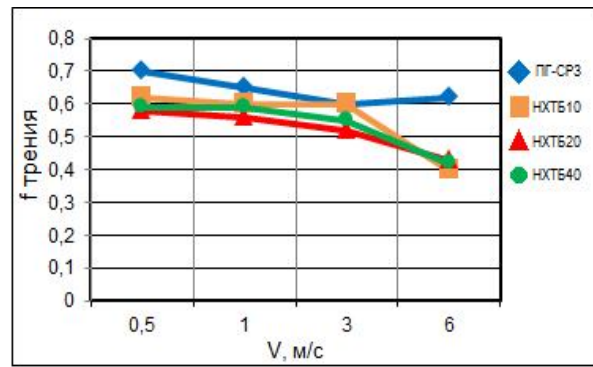


Рис. 9. Зависимость коэффициента трения покрытий ПР-НХ16СР3 и НХТБ от скорости ( $L = 3$  км.)

### Выводы

В результате выполнения данной работы установлено, что в разработанных композиционных порошковых материалах НХТБ10-40 и нанесенных из них методом высокоскоростного воздушно-топливного напыления гетерофазных покрытиях кроме вводимой упрочняющей фазы  $TiB_2$  в матрице обнаружены образовавшиеся новые твердые фазы боридов хрома ( $H_c = 12-15$  ГПа), которые отсутствуют в покрытиях из исходного материала ПР-НХ16СР3. Их появление связано с взаимодействием хрома и бора, входящих в состав сплава матрицы, и бора образовавшегося в результате частичного растворения в сплаве дихорида титана при высокотемпературном спекании композитов в вакууме в процессе получения порошков.

Установлено, что варьируя количеством вводимой добавки  $TiB_2$  можно управлять структурно-фазовым составом покрытий меняя количество и размер образующихся новых фаз боридов хрома.

Определено оптимальное, с точки зрения повышения износостойкости покрытий, количество вводимой упрочняющей добавки  $TiB_2$ . Для покрытий, полученных методом высокоскоростного воздушно-топливного напыления оно равно 20%.

Установлено, что в условиях трения скольжения без смазки при нагрузке 1 МПа оптимальной для материалов НХТБ10 и 40 является скорость скольжения  $V = 3$  м/с, а для НХТБ20 -  $V = 1 - 6$  м/с.

Коэффициент трения покрытий из композиционных материалов НХТБ в условиях сухого трения скольжения в паре со сталью 65Г находится в пределах 0,2 - 0,42, что является приемлемым для подобного рода условий работы покрытий.

### Литература

1. Коробов, Ю.С. Термическое напыление современное состояние [Текст] / Ю.С. Коробов // *Международ. конф.-выставка по термическому напылению ITSC 2010: обзор и анализ: материалы*

*Международ. научн.-практич. семинара. - Екатеринбург, 28-29 сентября 2010 г. - С. 4-26.*

2. Fauchais, P. *Thermal Sprayed Coatings Used Against Corrosion and Corrosive Wear [Text] / P. Fauchais, A. Vardelle // SPCTS, UMR 7315, University of Limoges, France. - 2012. - 12 p.*

3. Кисель, В.М. Современное состояние и развитие технологии высокоскоростного воздушно-топливного напыления [Текст] / В.М. Кисель, Ю.И. Евдокименко // *Вісник українського матеріалознавчого товариства. - 2010. - Вып. 3. - С. 65-79.*

4. Verstak, A. *Activated Combustion HVOF Coatings for Protection against Wear and High Temperature Corrosion [Text] / A. Verstak, V. Baranovski // Thermal Spray 2003: Advancing the Science and Applying the Technology. Proc. of the ITSC. ASM Publication. - 2003. - Vol. 1. - 25 p.*

5. Косторнов, А.Г. Композиционные керамические материалы и покрытия трибологического назначения [Текст] / А.Г. Косторнов, А.Д. Костенко // *Порошковая металлургия. - 2003. - № 5-6. - С. 37-46.*

6. Газотермические покрытия из порошковых материалов [Текст]: справ. / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. - К.: Наукова думка, 1983. - 568 с.

7. Борисов, Ю.С. Плазменные порошковые покрытия [Текст] / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова. - К.: Техніка, 1986. - 233 с.

8. Методика горячего напрессовывания износостойких композиционных покрытий из  $Cr_3C_2$  и сплава на основе никеля [Текст] / Н.П. Бродниковский, А.А. Михайлов, К.С. Чирик и [др.] // *Электронная микроскопия и прочность материалов: сб. научн. тр. ИПМ. - Вып. 16. - К., 2009. - С. 49-53.*

9. Ютиская-Руденская, Н.А. Особенности композиционных покрытий на основе Ni-Cr-B-Si сплавов. Исследование износостойкости покрытий [Текст] / Н.А. Ютиская-Руденская, В.А. Копысов, С.В. Коцот // *Физика и химия обработки материалов. - 1994. - № 6. - С. 52-57.*

10. Клинская-Руденская, Н.А. О влиянии тугоплавких добавок на структуру и свойства покрытий из самофлюсующихся сплавов ПГ-10К-01 и ПГСР-3 [Текст] / Н.А. Клинская-Руденская, Б.П. Ку-

зьмин // *Физика и химия обработки материалов*. – 1996. – № 1. – С. 55-61.

11. А.с. 1215364 (СССР), МКИ<sup>7</sup>С23С4/10. Порошковый материал для газотермических покрытий [Текст] / Н.А. Клинская, В.А. Копысов, А.А. Гостенин (СССР). – № 4892805/10; заявл. 10.09.90; опубл. 15.02.93, Бюл. № 6.

12. Газотермическое напыление композиционных порошков [Текст] / А.Я. Кулик, Ю.С. Борисов, А.С. Мнухин, М.Д. Никитин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.

13. Самсонов, Г.В. Тугоплавкие соединения [Текст]: справ. / Г.В. Самсонов, И.М. Винницкий. – М.: Металлургия, 1976. – 557 с.

14. Влияние добавок  $TiB_2$  на структуру и свойства плазменных покрытий на основе NiCrSiB [Текст] А.П. Уманский, А.Е. Терентьев, М.С. Стороженко, А.А. Бондаренко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 10(97). – С. 50-54.

15. Иванько, А.А. Твердость [Текст]: моногр. / А.А. Иванько. – К.: Наук. думка, 1968. – 128 с.

Поступила в редакцию 31.05.2013, рассмотрена на редколлегии 14.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.А. Фролов, Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев.

### ВПЛИВ ДИСПЕРСНИХ ДОМШОК ДИБОРИДУ ТИТАНУ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ HVOF - ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ (Ni-Cr-Si-B) – $TiB_2$

*О.П. Уманський, О.Є. Терентьєв, М.С. Стороженко, В.М. Кисіль, Ю.І. Євдокіменко, В.Т. Варченко*

Розглянуто питання збільшення зносостійкості покриттів, отриманих методом високошвидкісного повітряно-паливного напылення з самофлюсівних сплавів на нікелевої основі шляхом введення до складу вихідних порошків добавок дибориду титану. Методами порошкової металургії отримували композиційні порошки НХТБ на основі порошку ПР-НХ16СРЗ, що серійно випускається, з добавками 10, 20 і 40 мас.%  $TiB_2$ . Досліджено вплив цих добавок на структуру і властивості отриманих покриттів. Встановлено, що при напыленні таких порошків методом HVOF формуються покриття з гетерофазною структурою - в матриці на основі нікелевого сплаву рівномірно розподілені зерна дибориду титану і боридів хрому. Покриття відрізняються високою щільністю і низьким вмістом оксидних включень. Представлені результати триботехнічних випробувань отриманих покриттів в умовах тертя ковзання без мастила.

**Ключові слова:** самофлюсівний сплав, покриття, високошвидкісне повітряно-паливне напылення, диборид титану, структура, мікротвердість, зносостійкість.

### EFFECT OF TITANIUM DIBORIDE ADDITIVES ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HVOF-COATINGS OF (Ni-Cr-Si-B) – $TiB_2$ SYSTEM

*O.P. Umanskyi, O.A. Terentjev, M.S. Storozhenko, V.M. Kysil, Y.I. Yevdokimenko, V.T. Varchenko*

The effect of adding titanium diboride particles on wear-resistance of (Ni-Cr-Si-B)-based coatings, sprayed by HVOF technique, was studied. Three grades of composite powders were prepared by mixing of commercially available powder of Ni-Cr-Si-B self-fluxing alloy with 10, 20 i 40 wt.% of  $TiB_2$  particles. The influence of titanium diboride additives on the structure and properties of coatings has been investigated. It is found that heterogeneous structure of HVOF-sprayed coatings of (Ni-Cr-Si-B) –  $TiB_2$  system consists of titanium diboride and chromium boride grains evenly distributed in nickel alloy based matrix. The coatings of (Ni-Cr-Si-B) –  $TiB_2$  system have high density and low content of oxide phases. Wear behavior of developed coatings was studied under dry sliding conditions.

**Key words:** self-fluxing alloy, coating, high velocity air-fuel spraying, titanium diboride, structure, microhardness.

**Уманский Александр Павлович** - д-р техн. наук, ст. науч. сотр., зав. отделом материаловедения и инженерии высокостойких поверхностных слоёв, Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, e-mail: kerm@voliacable.com.

**Терентьев Александр Евгеньевич** – науч. сотр., Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, e-mail: terentjev\_a@mail.ru.

**Стороженко Марина Сергеевна** - канд. техн. наук, доцент кафедры технологий аэропортов Национального авиационного университета, Киев, e-mail: storozhenkomary@ukr.net.

**Кисель Вячеслав Михайлович** – ст. науч. сотр., Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, e-mail: vyacheslav.kysil@gmail.com.

**Євдокіменко Юрій Игоревич** – науч. сотр., Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев.

**Варченко Виктор Трифонович** – науч. сотр., Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев.