

**Исследование структуры и фазового состава оксидной керамики в высокоскоростной газопламенной струе с разработкой технологии нанесения износостойких покрытий**

<sup>1</sup> Горанский Г.Г., <sup>2</sup> Манойло Е.Д., <sup>1</sup> Толстяк Э.Н.

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup> Институт порошковой металлургии НАН Б

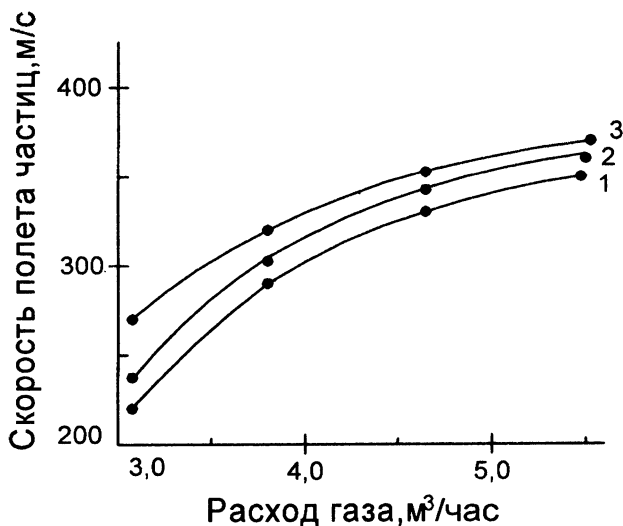
Минск, Беларусь

Эксплуатационные характеристики многофункциональных порошковых покрытий на основе оксидной керамики могут быть оптимизированы формированием в них аморфных и наноразмерных структур [1]. В основном подобные структуры реализуются при плазменном нанесении покрытий [1,2]. Этот метод при общепризнанных достоинствах (высоких прочности, твердости покрытий, низкой пористости, качественной адгезии) отличается относительно небольшой толщиной аморфных покрытий (до 0,1 мм) и их значительной стоимостью [2].

Целью работы было показать, что формирование аморфных и наноразмерных фаз в керамических покрытиях может быть достигнуто и в процессе их высокоскоростного газопламенного напыления (HVOF), когда керамический порошок вместе с органическим связующим зашнурован в эластичную оболочку.

В качестве материала был взят шнур марки «Сфекорд-керамика» системы  $Al_2O_3 + Cr_2O_3 + TiO_2 + SiO_2$ . Авторы использовали базовые методики комплексной диагностики газопламенной струи и летящих в ней частиц, фазового состава и свойств покрытий, изложенные в [2].

Осуществлена оценка распределения температур и скоростей полета частиц керамики в зависимости от технологических параметров процесса HVOF (рисунки 1-3). Определены закономерности структурных и фазовых превращений в частицах керамики на стадиях их полета и при формировании многокомпонентных аморфных и наноструктурных керамических покрытий (таблица 1). Оценен уровень свойств изготовленных покрытий (таблица 2). Обоснованы рекомендации для HVOF аморфных и наноструктурных керамических покрытий, изготовлены опытные образцы деталей (рисунок 4).



Скорость подачи шнура, см/мин.: 1 – 35; 2 – 30; 3 – 25  
 Рисунок 1. Изменение скорости частиц от расхода горючей смеси в газопламенной струе (дистанция напыления – 80 мм)



Расход газов, м<sup>3</sup>/час.: 1 – 3,5; 2 – 5,5 .  
 Рисунок 2. Зависимость скорости полета частиц керамики от расстояния от среза сопла

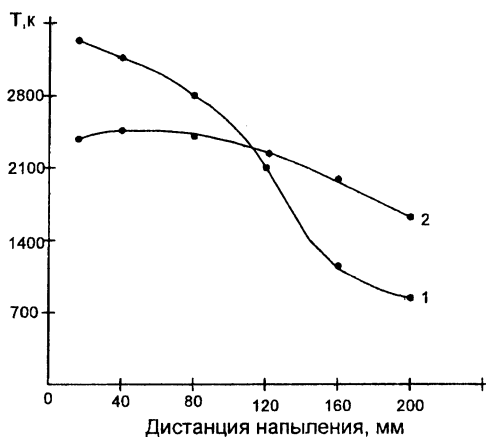


Рисунок 3. Температуры газовой струи (1) и частиц керамики (2) как функции расстояния от среза сопла

Таблица 1 Фазовый состав частиц керамики и покрытий

Вид фазы	Содержание фазы, об. %						
	Исходный материал	В газопламенной струе при расстоянии от сопла, мм			В покрытии при дистанции напыления, мм		
		40	80	120	40	80	120
$\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ тригональная	58-60	51-53	36-42	32-39	16-19	2-3	6-8
$\chi$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ кубическая	-	2	-	-	-	-	-
$\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ гексагональная	-	1	2-3	3-4	-	-	1
$\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$	-	-	-	1-2	2	-	-
$\delta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$	-	-	3-4	3-4	2-4	1-2	-
$\text{Cr}_2\text{O}_3$ гексагональная	29-30	29-30	27-30	15-17	10-12	2-3	4-6
$\text{SiO}_2$ тетрагональная	3-4	2-3	2-3	2-3	2-3	-	-
$\text{TiO}_2$ тетрагональная	6-7	6-7	5-6	3-4	2-4	1	2
Аморфная фаза $(\text{AlCr})_2\text{O}_3$	-	4-5	6-8	12-15	26-29	42-46	42-46
Аморфная фаза $(\text{AlSiCr})_2\text{O}_3$	-	1	2-3	5-8	18-21	34-36	30-32
Аморфная фаза $(\text{AlSiTiCr})_2\text{O}_3$	-	-	1	2-3	4-6	8-12	6-8

Размер областей ближнего порядка: для аморфных фаз – 0,1-1,8 нм, для кристаллических – 2,1-12 нм.

Таблица 2 Микротвердость, прочность адгезии и пористость газопламенных покрытий керамики  $Al_2O_3 + Cr_2O_3 + TiO_2 + SiO_2$

Дистанция напыления, мм	40	80	120
Микротвердость $H_{\mu}$ , МПа	10100	12700	10400
Прочность адгезии МПа	15	25	18
Пористость, %	5	3	4

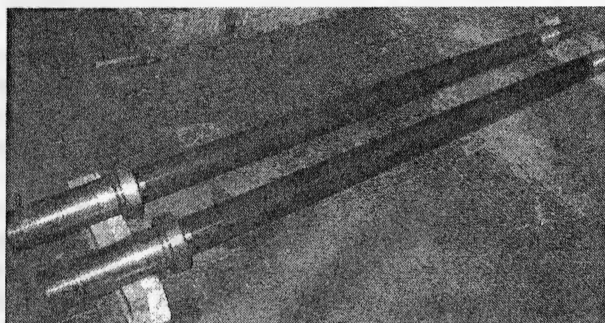


Рисунок 4. Штоки со шлифованным керамическим покрытием

Полученные при оптимальных режимах высокоскоростного газопламенного напыления образцы керамических покрытий с аморфными и наноразмерными составляющими обладают толщиной до 0,8 мм; пористостью 3-5%; прочностью адгезии 20-25 МПа; твердостью HV – 600-900 и микротвердостью– 10000-12700 МПа (в зависимости от состава). Коэффициент использования материала - до 75% при производительности напыления 0,8-1,2 кг / час и энергоемкости процесса 30-35 Квт\*час.

### Литература

1. Руденская, Н.А. Новые плазменные покрытия многофункционального назначения и их самоорганизация // Защита металлов. – 2004. – т. 40. – № 2. – с. 173-177
2. Формирование газотермических покрытий: теория и практика / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас и др. Мн.: Бестпринт, 2002. – 480 с.