

**РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ
ТВЕРДОЙ СМАЗКИ ДЛЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ**

Ф. И. Пантелеенко, В. А. Оковитый, А. Ф. Пантелеенко
Белорусский национальный технический университет, Минск

Описана технология получения композиционного керамического материала. Получены порошки оксидной керамики с введением плакированной твердой смазки. Проведено исследование свойств и структуры композиционного материала на основе оксидной керамики с включениями твердой смазки.

Разработка и создание композиционных керамических материалов обусловлены необходимостью улучшения свойств износостойких плазменных покрытий, так как, в отличие от механических смесей порошков, только в композиционных порошках могут одновременно находиться в заданном состоянии разнородные по физическому и химическому составу вещества, элементы, соединения, что дает возможность достигать новых эффектов при использовании таких материалов для нанесения покрытий. Необходимо также отметить, что применяемая технология изготовления композиционного порошка должна также обеспечивать придание частицам свойств, способствующих формированию заданной структуры покрытий.

Твердые смазки подвержены интенсивному разложению во время напыления, поэтому их необходимо плакировать оболочками из металла (например, никелем), стабилизирующими состав частиц в период высокотемпературного распыления и создающими предпосылки генерирования прочных связей между частицами и подложкой при формировании газотермических покрытий. Вместе с тем, упомянутые оболочки в структуре покрытий выполняют роль теплозащитных экранов, которые затрудняют передачу тепла в нанесенных материалах. Низкая теплопроводность оболочек из никеля связана с тугоплавкими фазами оксидов никеля. Ухудшение передачи тепла в напыленных материалах с плакирующими оболочками частиц, способствует удержанию тепловой энергии в нагреваемом слое покрытия при напылении, степень оплавления которого возрастает. При этом улучшаются условия для уплотнения напыленного материала, увеличивается также количество центров кристаллизации расплава с конкурирующим развитием кристаллических зерен при сверхбыстром охлаждении жидкофазного материала. Взаимный контакт увеличивающихся кристал-

лических зерен существенно ограничивает их развитие и размеры, создаются условия для получения измельченной нанокристаллической структуры. Таким образом, ухудшение передачи тепла в напыленных материалах с плакирующими оболочками частиц способствует уплотнению структуры, зарождению центров кристаллизации расплава при плазменном напылении покрытий, что положительно влияет на их упрочнение. Оценивая состояние вопроса и эффективность способов получения композиционных керамических (оксидных) порошков для плазменного напыления, можно сделать вывод, что одним из наименее сложных и наиболее технологических методов получения композиционных оксидных порошков является метод агломерирования мелкодисперсной шихты с последующим высокотемпературным спеканием. Такой процесс изготовления композиционных порошков позволяет обеспечить следующие преимущества при плазменном напылении: более равномерное распределение компонентов в покрытии, по сравнению с использованием механических смесей, из-за отсутствия сегрегации; повышение температуры частиц вследствие интенсификации процессов теплообмена в плазменной струе; повышение скорости частиц вследствие интенсифицирования ускорения частиц в плазменной струе; повышение износостойкости, прочности и плотности покрытий.

Описание технологии получения композиционного керамического материала. Получали порошки оксидной керамики с введением плакированной твердой смазки следующих составов [1]: композиция $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-12\% (MoS}_2\text{-Ni)}$; композиция $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-12\% (CaF}_2\text{-Ni)}$; композиция $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-10\% (графита-Ni)}$. Смешивание мелкодисперсных компонентов шихты проводили в баночном смесителе модели 022. Затем навески шихты помещали в барабаны ротационного гранулятора марки 03-03-01. Вводили связующее и проводили операцию гранулирования. Гранулирование шихты проводили на оптимальных режимах работы ротационного гранулятора, обеспечивающих наибольший выход мелкодисперсных фракций: количество шихты в барабане – 125 г; скорость вращения барабана – 36 об/мин; угол наклона барабана – 40° . Для исследования влияния времени гранулирования на кинетику формирования агломератов через 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 часа после начала операции гранулирования отбирались пробы материала, которые после удаления связующего, спекания, дробления и отсева подвергались исследованиям. Режимы удаления связующего, спекания, дробления и отсева во всех опытах поддерживались постоянными. Установлено влияние времени процесса гранулирования на содержание различных фракций в порошке. Для напыления отбирали фракцию 40 – 63 мкм. Полученные результаты показывают, что наибольший выход фракции порошка размером 40 – 63 мкм, достигается при времени гранулирования 2 – 2,5 ч.

В таблице приведены результаты измерения фракционный состав порошка – $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-12\%}(\text{MoS}_2\text{-Ni})$ после гранулирования порошка $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ без и с введением твердой смазки. Затем полученные конгломераты помещали в алундовые лодочки ПД-КВПТ, которые устанавливали в сушильном шкафу. Удаление легкоиспаряющегося компонента связующего проводили при температуре 150°C в течение 1,25 ч. Спекание материала проводили при температуре 1100°C в течение 4 часов в камерной печи СНО 1,6.2,5.1/II-У2. Размол материала осуществляли на шаровой мельнице МБЛ-1. Операцию отсева проводили с использованием воздушного классификатора для выделения фракции от 40 до 63 мкм. После отсева порошок фракцией от 40 до 63 мкм вводили в струю плазменного распылителя (плазматрон F4 фирмы Плазма-Техник, Швейцария) мощность 40 кВт и производили их распыление в стальной цилиндр длиной 1 м, заполненный аргоном. Степень сфероидизации определяли по форм-фактору частиц (степень несферичности, значение 1 – соответствует сфере) методом оптической металлографии. Мощность плазменной струи изменяли от 10 до 50 кВт.

Таблица

Результаты измерения фракционный состав порошка - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-12\%}(\text{MoS}_2\text{-Ni})$ после гранулирования

Способ гранулирования порошка $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$	Процентное соотношение фракционный состав порошка после гранулирования, мкм				
	0 – 40	40 – 63	63 – 80	80 – 100	более 100
с введением твердой смазки. ($\text{MoS}_2 + \text{Ni}$)	4	28	20	30	18
без введения твердой смазки	8	48	20	10	14

Оптимальный форм-фактор -0,9 (более 65 %) частиц получается при мощности плазменной струи 40 кВт. При мощности плазменной струи менее 40квт частицы имеют форм фактор 0,5 – 0,8. При повышении мощности плазменной струи свыше 40 кВт повышение значения форм-фактора частиц незначительно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ получения композиционного керамического материала: пат. № 13690 Респ. Беларусь, МПК С04В 35/10../ В. А. Оковитый, Ф. И. Пантелеенко, О. Г. Девойно, А. Ф. Пантелеенко, В. В. Оковитый: заявитель и патентообладатель БНТУ – № а 20090464; заявл. 30.03.2009; бюл. № 5,2010.