

рошков, изучения структуры керамики на изломе, а также структуры металлизационных слоев был использован растровый электронный микроскоп JEOL JSM 6000.

В качестве добавки использовался нанопорошок молибдена, полученный методом ЭВП, со средним размером частиц 0,530 мкм.

Высокая адгезия металлизационного слоя к фарфору и хорошие вакуумные свойства могут быть обеспечены за счет заполнения межзеренного пространства стеклофазой из фарфора.

Список литературы

1. Москалев В.А., Чахлов В.Л. *Бетатроны: монография / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 267с.*
2. Колесова Т.В. *Выбор компонентов металлизационной пасты для металлизации фарфора / Т.В. Колесова; науч. рук. В.М. Погребенков, А.А. Дитц // Современная техника и технологии: сборник трудов XXI между-*
3. Ермолаев Е., Козлов П., Егосин В. *Обеспечение надежного соединения металлизационного покрытия с керамикой в условиях массового производства МКК для ИС // Электроника НТБ, 2015. – №7. – С.120–124.*

Движение стекломассы обеспечивается созданием пористости (диаметра капилляра) [3]. Регулирование этого пространства происходит за счет смешения микро и нано-порошков молибдена.

По результатам работы можно сделать вывод о потенциальной возможности введения нано-порошка молибдена в состав металлизационных паст для металлизации фарфора с целью повышения адгезии металлических порошков к поверхности фарфора.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ПОРОШКОВ ZrO_2 /ОУНТ И ZrO_2 /НАНОВОЛОКНА Al_2O_3

А.А. Леонов

Научный руководитель – д.т.н., профессор О.Л. Хасанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, laa91@tpu.ru

Высокотехнологичные отрасли (электроника, аэрокосмическая техника, биомедицинские технологии и др.) требуют постоянного роста качества применяемых материалов и изделий. В последнее время весьма интенсивно развиваются исследования и разработки по созданию композитных материалов, в которых сочетание основы-матрицы с армирующими добавками приводит к улучшению различных эксплуатационных свойств [1]. Перспективными армирующими компонентами композиционных материалов являются углеродные нанотрубки (УНТ) и различные керамические волокна, в частности волокна Al_2O_3 . При изготовлении композитов, армированных волокнистыми наполнителями, требуется, чтобы УНТ/волокна были отделены друг от друга и наиболее равномерно локализованы по всему объему матрицы композита. При выполнении этих требований каждая нанотрубка/волокно будет претерпевать приложенную нагрузку индивидуально, нагрузка будет сосре-

доточена в граничной области между волокнистым наполнителем и матрицей. Цель данной работы: получение порошковых смесей на основе диоксида циркония с добавками УНТ и нановолокон (НВ) Al_2O_3 .

В качестве матричной основы композитной смеси использовали нанопорошок частично стабилизированного иттрием диоксида циркония (TZ-3YS) коммерческой марки Tosoh (Япония). Армирующими наполнителями являлись одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) Tuball и нановолокнистый оксид алюминия Fibrall, предоставленные группой компаний OCSiAl (Новосибирск, Россия). На рисунке 1 представлены ПЭМ-изображения исходных материалов, полученные на просвечивающем электронном микроскопе JEM-2100F (JEOL, Япония). Из рисунка 1а видно, что ОУНТ представляют собой тяжи нанотрубок разной ширины, большинство из них в поперечном сечении имеют размер 10–30 нм, однако присутствуют и более круп-

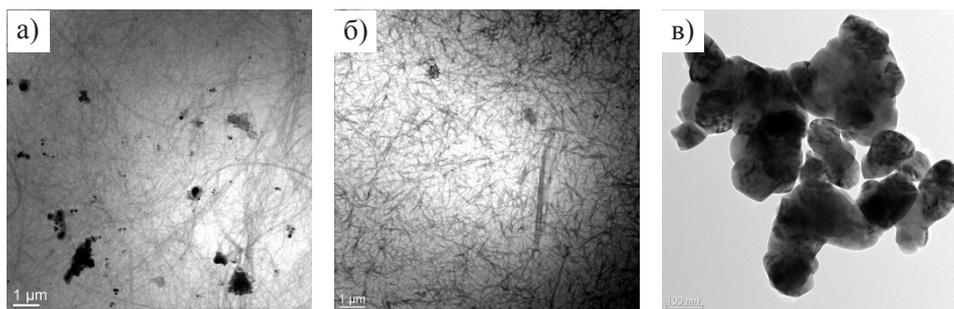


Рис. 1. ПЭМ-изображения ОУНТ (а), НВ оксида алюминия (б) и нанопорошка ZrO_2 (в)

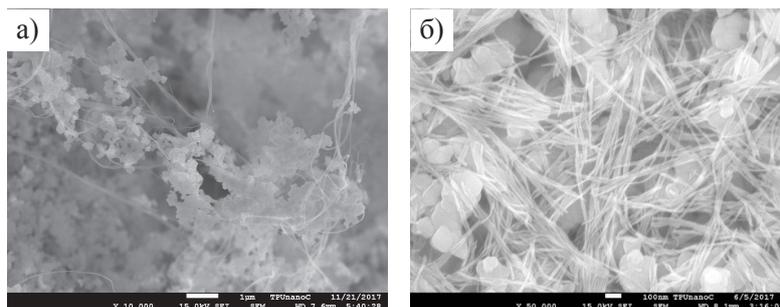


Рис. 2. СЭМ-изображения композитных смесей: ZrO_2 + 1 масс. % ОУНТ (а) и ZrO_2 + 5 масс. % НВ оксида алюминия (б)

ные тяжи. Кроме того, наблюдаются частицы катализатора и их агломераты, которые имеет форму близкую к сферической. В работе [2] более подробно описана характеристика исходных ОУНТ Tuball. Что касается нановолокнистого оксида алюминия (рис. 1б), то он также состоит из крупных агломератов, но наблюдаются и отдельные нановолокна диаметром 10–15 нм.

Чтобы разделить тяжи нанотрубок и разбить агломераты нановолокон использовали ультразвуковое кавитационное диспергирование с использованием УЗ-ванны Град 28-35 (110 Вт, 35 кГц). Диспергирование ОУНТ и НВ производили в среде этилового спирта в течение 30 мин с периодическим перемешиванием. После этого к приготовленным суспензиям порциями добавляли нанопорошок ZrO_2 и продолжали ультра-

звуковое диспергирование еще 30 мин. По истечению времени диспергирования, обработанные композиционные суспензии ставили на магнитную мешалку и осуществляли перемешивание в течение 30 мин. Две готовые суспензии с матричной основой ZrO_2 , содержащие 1 масс. % ОУНТ и 5 масс. % НВ, высушивали 3 часа в сушильном шкафу. На рисунке 2 представлены СЭМ-изображения полученных композитных смесей.

Выводы. Показано, что ОУНТ достаточно хорошо диспергированы и имеют гибкую структуру, что позволяет им изгибаться и опутывать частицы ZrO_2 , образуя сетчатые каркасы. Что касается нановолокон, то они хаотично ориентированы и довольно равномерно распределены в объеме матрицы ZrO_2 .

Список литературы

1. Krenkel W. *Ceramic matrix composites: fiber reinforced ceramics and their applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008. – 440p.
2. Крестинин А.В. и др. // *Российские нанотехнологии*, 2015. – Т.10. – №7–8. – С.26–34.