

## ПОЛУЧЕНИЕ SiC-КОМПОЗИТА СО СПЕКАЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОКСАНОВОГО ОЛИГОМЕРА, АРМИРОВАННОГО МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

А.А. Рюмина<sup>1,2</sup>, Н.С. Кривцова<sup>1</sup>, Г.И. Щербакова<sup>1</sup>, П.П. Файков<sup>2</sup>

Научные руководители – д.х.н., ведущий научный сотрудник Г.И. Щербакова; к.т.н., доцент П.П. Файков

<sup>1</sup>Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементарных органических соединений  
105118, Россия, г. Москва, ш. Энтузиастов 38, info@eos.su

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева  
125047, Россия, г. Москва, пл. Миусская 9, rector@muctr.ru

Керамические композиционные материалы (ККМ) на основе карбида кремния прочные, износостойкие, термо- (до 2000 °С) и химически устойчивые. Такие материалы находят применение в аэрокосмической технике, двигателестроение, в изготовлении легкой брони и т.д.

Для получения более плотного ККМ вводится спекающая добавка, образующая жидкую фазу при спекании. Углеродные нанотрубки (УНТ) применяются, как армирующий компонент в композиционном материале.

Целью работы является изучение влияния спекающей добавки на основе элементоксанового олигомера и многослойных углеродных нанотрубок на механические свойства композиционного материала на основе карбида кремния.

В качестве спекающей добавки был использован термообработанный органомагнийоксаниитрийоксаналюмоксановый олигомер, синтезированный в ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС» [1].

Синтезированный органомагнийоксаниитрийоксаналюмоксан имел определенное мольное соотношение Al:Mg и Al:Y, поэтому его пиролиз при температуре 750 °С приводил к образованию оксидного порошка тройного эвтектического состава  $xAl_2O_3 \cdot yY_2O_3 \cdot zMgO$  MgO (3,66 мас. %) +  $Y_2O_3$  (24,70 мас. %) +  $Al_2O_3$  (71,64 мас. %) с температурой плавления 1775 °С, кото-

рый по данным [2] является лучшим составом для спекающих добавок в карбидокремниевой керамике.

Олигомер и спекающая добавка были исследованы физико-химическими методами: ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, <sup>27</sup>Al, ИК-спектроскопия, СЭМ, ТГА, РФА и элементный анализ.

Из карбида кремния марки f1000, МУНТ фирмы Bayer и спекающей добавки (AlYMg) были получены пресс-порошки, которые спекались методом искрового плазменного спекания на установке HP D 25 при температуре около 2200 °С. Образцы после спекания были исследованы на механические свойства. Результаты представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что образцы с добавлением МУНТ и спекающей добавки AlYMg обладают более высокими показателями K1C и  $\sigma$ . При сравнении образцов №2 и №6 можно сделать вывод, что добавление в ККМ даже небольшого количества (0,5%) спекающей добавки на основе элементоксанового олигомера приводит к значительным увеличениям механических характеристик композита: K1C увеличился практически в 1,5 раза и  $\sigma$  в 2,4 раза.

Работа проведена при поддержке РФФИ проект 17-03-00331 А.

**Таблица 1.** Средние значения механических свойств образцов

№	Материал	Нагрузка, г	Микротвердость, ГПа	Коэффициент трещиностойкости, МПа/м <sup>2</sup>	Предел прочности, МПа
1	SiC [3]	300	32,8	3,77	180
2	SiC+10% CNT	300	23,7	4,26	137
3	SiC+0,5% AlYMg	300	30,3	4,84	221
4	SiC+1% CNT+0,5% AlYMg	300	35,4	5,12	185
5	SiC+6% CNT+0,5% AlYMg	300	33,8	5,75	288
6	SiC+10% CNT+0,5% AlYMg	300	31,9	6,24	327

## Список литературы

1. Щербакова Г.И., Н.С. Кривцова, Кутинова Н.Б., Анухтина Т.Л., Варфоломеев М.С., Драчев А.И., Стороженко П.А. Заявка на выдачу патента РФ №2017104275 / Способ получения органоматриксных оксидных соединений, связующие и пропиточные материалы на их основе/ положительное решение от 17.01.2018.
2. Кожневников О.А., Вихман С.В., Орданьян С.С., Чупов В.Д. Пат. №2455262 / Растворный способ получения карбидкремниевой шихты с оксидным активатором спекания и способ получения керамики на ее основе / от 16.06.2010 г
3. Zharikov E.V., Kapustin V.V., Faikov P.P., Popova N.A., Barmin A.A., Ivanov A.V., Rizakhanov R.N. // *Materials Science and Engineering*, 2017.– 175.– doi:10.1088/1757-899X/175/1/012065.

## ФОРМИРОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУРНЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ И ТИТАНА В МИКРОПЛАЗМЕННОМ РЕЖИМЕ

А.Е. Рябиков, А.И. Мамаев, А.К. Чубенко, Т.А. Баранова  
 Научный руководитель – д.х.н., профессор А.И. Мамаев

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36, aer000093@mail.ru

В современном материаловедении является актуальным вопрос разработки широкополосных радиопоглощающих материалов (РПМ). Наиболее часто применяются РПМ на основе функциональных покрытий, наносимых на защищаемые металлические поверхности различными методами.

Одним из методов поверхностной обработки металлов, с помощью которой можно получить покрытия с уникальными физико-механическими свойствами, является метод микроплазменного оксидирования (МПО). Данный метод предполагает локализацию высоких энергетических потоков на обрабатываемой детали посредством наложения высоких напряжений. Последние исследования показали, что данным методом возможно формировать покрытия, способные поглощать различные диапазоны ЭМВ [1, 2].

Для эксперимента использовали гомогенные электролиты, содержащие магнитоактивные элементы в анионной форме ( $K_3[Fe(CN)_6]$ ), а также содержащие традиционные для такого метода вещества – силикат натрия, тетраборат натрия, фосфат натрия/пирофосфат калия, гидроксиды калия/натрия.

Результаты исследования фазового и элементного состава покрытий говорят о том, что они содержат большое количество железа (до

24 масс. %), которое представлено в виде металлической фазы, сложных оксидов состава  $Fe_3O_4$  и  $FeAl_2O_4$ . Металлическая фаза и феррит в покрытии находятся в виде кристаллитов сферической формы, размером от 10–100 нм, а сложный оксид Fe(II) равномерно распределен по всему объему. Основу же покрытия составляют соединения, характерные для покрытий, полученных в традиционных электролитах для МПО [3].

Так как магнитоактивные элементы содержатся в анионной форме, при прохождении тока через электролитическую систему происходит перенос диссоциированных в растворе анионных форм к аноду. В дальнейшем происходит цепочка электро- (1), термо- (3, 4, 7) и плазмохимических (5) превращений. Такие реакции возможны благодаря специфике метода МПО – возникновение плазменных разрядов при пробое оксидной пленки с температурой от 2000 до 8000 К и разогреву электролита в прианодной области до 300 °С. Учитывая данные условия, при проведении процесса МПО возможны следующие цепочки превращений:

