

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДНЫХ ПОРОШКОВ

Константинова Т.Е.¹, Даниленко И.А.², Брюханова И.И.¹, Лоладзе Л.В.¹

*Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина, ул.Р.Люксембург 71,
Донецк, Украина, alta7@ukr.net,*

*Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины,
Киев, Пр. Науки, 48, Украина matscidep@aim.com*

Технический прогресс с каждым годом предъявляет все новые и более жесткие требования к эксплуатационным характеристикам материалов и устройств, а одновременно с этим экономическая ситуация требует снижения затрат на производство изделий и стоимости материалов. Особенно ярко это проявляется в требованиях к износостойким изделиям, работающим в агрессивных условиях и при высоких температурах - это детали авиадвигателей, сопла, плунжеры и клапаны для различных систем подачи газов, жидкостей, сыпучих твердых тел и т.п. К настоящему времени свойства существующих материалов становятся недостаточными для удовлетворения этих растущих требований современного технического прогресса и в связи с этим задача создания качественно новых материалов с более высокими свойствами становится еще более актуальной. Одним из путей решения этой проблемы создание новых монолитных композиционных материалов с повышенной вязкостью разрушения и износостойкостью являются единственным решением этой проблемы. Ее решение состоит в выборе оптимальных типов материала матрицы и наполнителя, а также, что еще более важно, в возможности технологического решения воплощения научной работы в производство.

Среди керамических материалов особо выделяется диоксид циркония, обладающий необычайно широким набором свойств, в частности, высокой прочностью и трещиностойкостью, износо-, термо- и химической стойкостью, стойкостью к нейтронному потоку и высокой степенью биосовместимости. Этот материал является диэлектриком при комнатной температуре и хорошим ионным проводником при $T > 600^\circ\text{C}$, а за счёт легирования ему можно придать люминесцентные и другие свойства. Такой уникальный набор свойств естественно притягивает огромный интерес к этому материалу в широком спектре направлений использования. Однако до сих пор колоссальные возможности диоксида циркония реализованы в малой степени, как в конструкционном, так и в функциональном назначении. Это связано прежде всего с тем, что у данного материала есть своя «ахиллесова пята», а именно склонность к низкотемпературной деградации. Имея очень высокую температуру плавления (2715°C), керамический диоксид циркония (ZrO_2 -3мол% Y_2O_3) в тетрагональной модификации, названный «керамической сталью» за уникальную среди керамических материалов прочность и трещиностойкость, растрескивается при относительно малых выдержках в атмосфере водяных паров и относительно низких температурах (30 - 300°C). Естественно это ограничивает или даже исключает применение диоксидциркониевой керамики в качестве ответственных изделий, например имплантов или деталей машин, эксплуатируемых во влажной или агрессивной среде при температурах человеческого тела или нагреваемых в процессе работы.

Механизм низкотемпературной деградации диоксидциркониевой керамики связан с мартенситным тетрагонально-моноклинным (Т-М) превращением, которое, как известно, и придает данному материалу очень высокий уровень свойств, в частности, это касается механических свойств - прочности, твердости, износостойкости, что позволило называть этот материал «керамической сталью». Отличие между трансформационным упрочнением и деградацией заключается в том, что в первом случае под влиянием напряжений впереди движущейся трещины образуются выделения М-фазы, имеющей больший удельный объём, чем исходная тетрагональная, которые останавливают трещину, а во втором - переход Т-М обусловлен взаимодействием ОН-групп с границами зерен диоксида циркония. Однако многие нюансы этого процесса в достаточной степени на сегодняшний день ещё не

изучены, хотя это крайне необходимо для предотвращения развития указанных опасных явлений.

В данной работе изучено влияние условий синтеза на склонность образцов к деградации, в частности, влияние типа прекурсора, выбранного для проведения синтеза, температуры синтеза, влияния легирования различными оксидами, размера и степени агрегации исходных наночастиц, условий компактирования и температуры спекания керамики. Исследования проведены с использованием технологии получения нанопорошков диоксида циркония, основанной на методе совместного осаждения исходных компонентов с подключением физических воздействий (СВЧ, ультразвук, импульсное магнитное поле), разработанной в отделе физического материаловедения Донецкого физико-технического института им. А.А. Галкина, г. Донецк. Технология позволяет получать слабоагрегированные монокристаллические нанопорошки с заранее определённым размером наночастиц и узким распределением их по размеру, заданным химическим и фазовым составом. Установлено, что все указанные выше внешние факторы могут изменять степень низкотемпературной деградации в ансамбле наночастиц. Установлена зависимость степени тетрагонально-моноклинного превращения нанопорошков от давления прессования и температуры последующего нагрева. Обнаружена деградация компактированных при разных давлениях в условиях гидростатического обжата образцов на основе нанопорошков диоксида циркония при вылёживании прессованных образцов перед спеканием.

Результаты исследований показали существенное преимущество использования нанопорошков на основе диоксида циркония перед микронными порошками того же состава для предотвращения низкотемпературной деградации. Экспериментально реализованы исследования по использованию керамики на основе получаемых в ДонФТИ нанопорошков. Результаты экспериментов показали увеличение в 30-50 раз срока службы керамических деталей при эксплуатационных испытаниях по сравнению с аналогами из высокопрочной стали.

Во второй части данной работы особое внимание было уделено процессам синтеза нанопорошков композитного состава. Следует отметить, что эти исследования были направлены на создание и совершенствование нанокompозитов на основе диоксида циркония 3Y-TZP и оксида алюминия Al_2O_3 , особенно при низких концентрациях глинозема, в которых изучались эффекты взаимосвязи между способом получения нанопорошков, структурой нанокompозита, механическими свойствами и скоростью износа, которые еще не получили достаточно глубокого понимания. Одной из самых важных и сложных задач в данной работе является получение порошков. На рис.1 представлены структуры получаемых нанопорошков, полученных ТЕМ (рис1.)

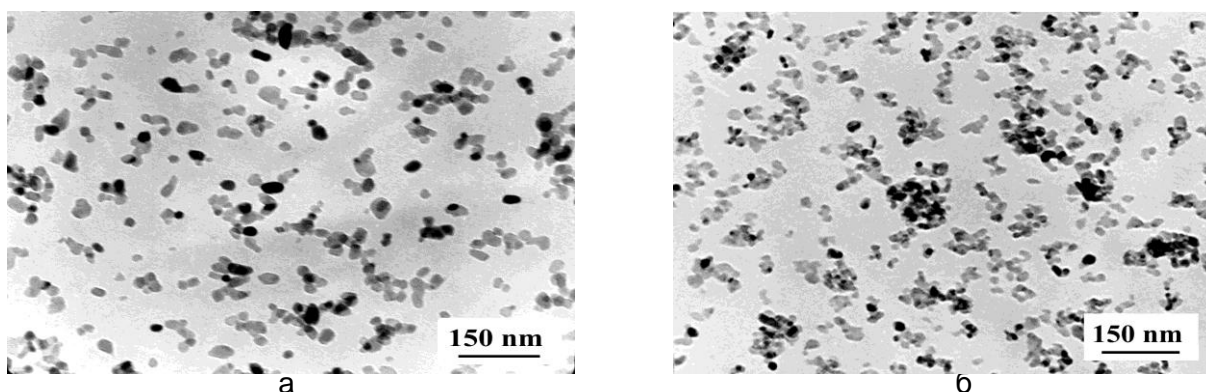


Рисунок 1 - ТЕМ изображение 3Y-TZP and 3Y-TZP-1Al₂O₃ нанопорошков. (T -700°С)

Основная работа была направлена на разработку методов синтеза наноразмерных порошков, предотвращение их агрегации в процессе термической обработки, на достижение однородного распределения наночастиц в диоксидциркониевой матрице, на структуру композитов, вязкость разрушения и трибологические свойства керамических композитов 3Y-TZP / Al_2O_3 , а также на поиск

эффектов взаимозависимости между структурой и механическими свойствами нанокompозитов.

Твердость и вязкость разрушения измеряли при комнатной температуре методом вдавливания по Виккерсу на зеркально отполированных поверхностях с нагрузками 98 и 196 Н, соответственно. Распространение трещин изучали при нагрузках 196 Н, трещины типа Palmquist распространялись в 3Y-TZP и композите с глиноземом. Значения вязкости разрушения были рассчитаны по уравнению Ниихара для трещин типа Palmquist. Уравнение Ниихара было выбрано потому, что расчетные данные оказались близки к данным метода SEPВ. Плотность измеряли с использованием метода Архимеда. Микроструктура керамических образцов была изучена методом сканирующей электронной микроскопии (JSM 6490LV Jeol) на плоских полированных поверхностях и поверхностях излома. Результаты, полученные при испытаниях на вязкость разрушения, показаны на рис. 2. Что касается образцов из 3Y-TZP, вязкость разрушения и прочность на изгиб в четырех точках составляли 850 ± 50 МПа, $5,85 \pm 0,4$ МПа м^{1/2} и $6,04$ г / см³ соответственно. Для композитов 3Y-TZP-nAl, полученных традиционным способом смешивания, наблюдалось лишь незначительное увеличение вязкости разрушения. Для композитов 3Y-TZP-nAl, полученных методом совместного осаждения, значение прочности несколько снижается (800 ± 50 МПа при 1-2 мас.% Al₂O₃), но значения вязкости разрушения при этом резко возрастают (рис.2)

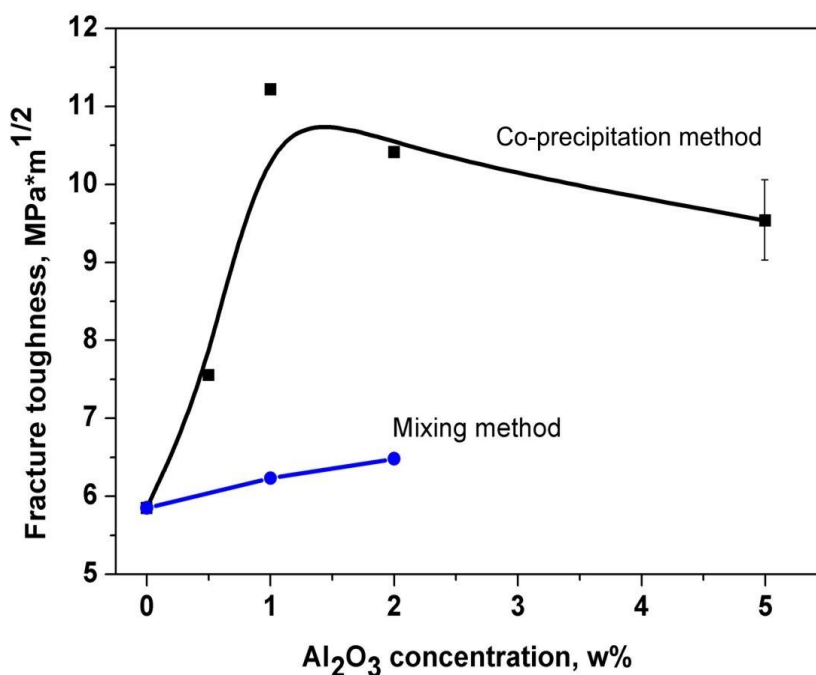


Рисунок 2 - Влияние концентрации оксида алюминия и метода получения порошков на износостойкость композитов на основе оксид алюминия - диоксид циркония

У нас есть основания полагать, что увеличение вязкости разрушения для циркониево-глиноземных композитов, полученных из соосажденных нанопорошков, обусловлено образованием сложной межзеренной структуры глиноземных включений с эффектом сегрегации алюминия на границы зерен диоксида циркония в процессе спекания.