

Таким образом, экспериментально показано, что крупнозернистые поликристаллы сплава $\text{Ni}_{50.3}\text{Ti}_{32.2}\text{Hf}_{17.5}$ (ат. %) обладают высокотемпературным ЭПФ как в исходном состоянии, так и после термомеханических обработок. Показано, что ТО (отжиг при 1323 К, 8 ч + отжиг при 1173 К, 3 ч) приводит к уменьшению необратимой деформаций при напряжениях ниже 400 МПа и к повышению минимальных напряжений для реализации ЭПФ. Выдержка в мартенситном состоянии приводит развитию ДЭПФ величиной 0,9 %, к увеличению обратимой деформации при развитии ЭПФ, а также способствует сокращению максимально величины необратимой деформации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-38-00577.

Список литературы

1. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения / В.Э. Гюнтер [и др.]. – Томск: Изд. Томского университета, 2006. – 296 с.
2. Ma J., Karaman I., Noebe R.D. High temperature shape memory alloys // International Materials Review. – 2010. – V. 55. – № 5. – P. 257–315.
3. Saghaian S.M., Karaca H.E., Souri M. [et. al.] Tensile shape memory behavior of $\text{Ni}_{50.3}\text{Ti}_{29.7}\text{Hf}_{20}$ high temperature shape memory alloys // Materials and Design. – 2016. – V. 101. – P. 340–345.
4. Otsuka K., Ren X. Mechanism of martensite aging effects and new aspects // Materials Science and Engineering A. – 2001. – V. 312. – P. 207–218.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОРИСТОГО КОМПОЗИТА $\text{ZrO}_2\text{-MgO}$

Д.А. ТКАЧЕВ², А.С. БУЯКОВ^{1,2}

¹ Томский политехнический университет

² Томский государственный университет

E-mail: d.tkachev11@gmail.com

Многообразие составов, структур и технологий керамических материалов предопределяет наличие широкого спектра их областей применения. Среди различных типов керамик, можно выделить композиты на основе диоксида циркония, варьируя состав и технологию получения которых, возможно производить изделия, обладающие высокой термостойкостью, стойкостью к химически-агрессивным средам и высокими прочностными характеристиками [1].

В настоящей работе исследуется фазовый состав, микроструктура и механические характеристики пористого керамического композита $\text{ZrO}_2\text{-MgO}$, анализируются закономерности формирования исследуемых параметров.

Кристаллическая структура материала исследована методом рентгеноструктурного анализа с фильтрованным излучением $\text{CuK}\alpha$ в угловом диапазоне 2θ от 10° до 115° . Диоксид циркония представлен преимущественно кубической фазой. Моноклинная фаза образуется при низких концентрациях MgO , до предела растворимости, и при длительной изотермической выдержке, в результате дестабилизации кубической фазы.

На основании данных рентгенограмм рассчитаны параметры кубических кристаллических решеток ZrO_2 и MgO : средние значения составили соответственно $a=5.103$ и $a=4.233$. Экспериментальные данные соотносятся со значениями, приводимыми в карточках ASTM, с незначительным отклонением в пределах 1%. Отклонения объясняются искажениями в кристаллических решетках.

Рассчитаны значения микроискажений кристаллической решетки ZrO_2 и MgO при различном времени изотермической выдержки, рисунок 1.

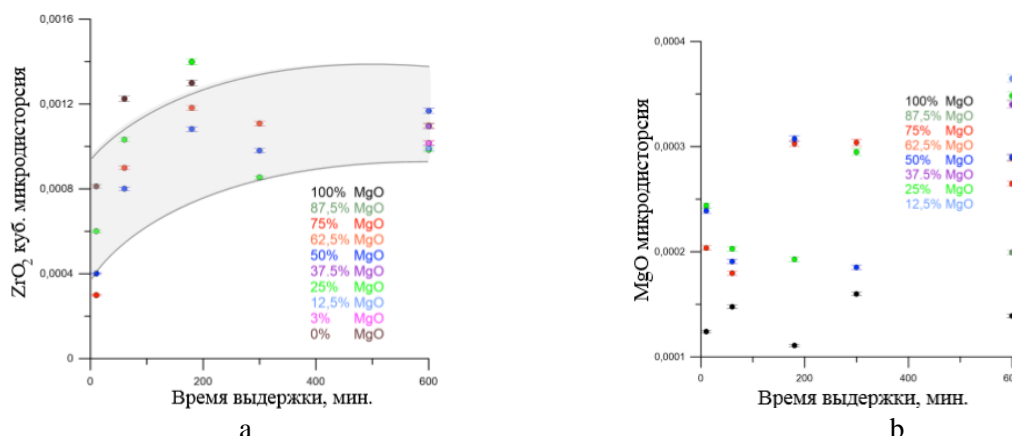


Рисунок 1 – Микродисторсия кубических кристаллических решеток ZrO_2 (a) и MgO (b)

Анализ микроструктуры на основании снимков, полученных методом растровой электронной микроскопии, показал, что поровая структура имеет бимодальное строение со средним размером макропор порядка 30 мкм. и микропор порядка 8 мкм. Крупные поры обусловлены выгоранием порообразующих частиц. Наличие микропор обуславливается пустотами, возникшими при компактировании частиц исходного порошка. Наблюдается так называемый эффект коалесценции пор, то есть роста микропор, за счет их слияния при увеличении времени высокотемпературной выдержки [2].

Исследования прочностных характеристик свидетельствуют о росте предела прочности материала при одноосном сжатии до достижения предела растворимости оксида магния в кубической решетке диоксида циркония. Максимальные значения прочности, не зависимо от длительности изотермической выдержки, достигаются при концентрации MgO равной 25%.

На рисунке 2 представлен график зависимости макронапряжений, соответствующих пределу прочности, от микронапряжений, возникающих на границах и внутри кристаллитов в структуре композита, рассчитанных как произведение микродисторсии на модуль упругости материала.

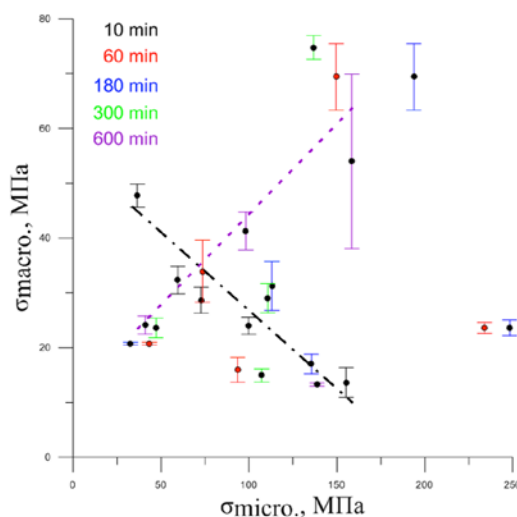


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности композита ZrO_2 – MgO от напряжений второго рода, рассчитанных по правилу смеси

При малом времени изотермической выдержки, с увеличением микронапряжений, предел прочности материала снижается, в то время как при длительной изотермической выдержке, с увеличением микронапряжений, имеется тенденция к росту прочностных

характеристик. Подобного рода зависимость можно объяснить формированием межзеренных границ с увеличением времени спекания. Так, при малом времени выдержки, возникающие по несформированным границам разделов микронапряжения, приводят к уменьшению прочности, в то время как при длительной выдержке, формируются границы разделов, и микронапряжения, возникающие в зернах, стабилизируют высокотемпературную кубическую фазу диоксида циркония, обладающую высокими прочностными характеристиками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Соглашения № 14.584.21.0026 (RFMEFI58417X0026).

Список литературы

1. Кульков С. Н., Буякова С. П. Фазовый состав и особенности формирования структуры на основе стабилизированного диоксида циркония //Российские нанотехнологии. – 2007. – Т. 2. – №. 1-2. – С. 119-132.
2. Кашеев И. Д., Комоликов Ю. И., Пудов В. И. Изменения пористой структуры корундоциркониевой керамики при термообработке //Новые огнеупоры. – 2016. – №. 7. – С. 41-43.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ZrO_2 С ВКЛЮЧЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И НИТРИДА БОРА

Д.А.ТКАЧЕВ², А.С. БУЯКОВ^{1,2}, ВАСИЛЬЕВА Е.О.²

¹Томский политехнический университет

²Томский государственный университет

E-mail: d.tkachev11@gmail.com

Керамики на основе диоксида циркония стабилизированного оксидом иттрия имеют широкий спектр областей применения, обусловленный стойкостью к длительному термическому воздействию и способностью сохранять эксплуатационные характеристики в химически-агрессивных средах [1,2]. Однако, актуальным остается вопрос увеличения надежности и вязкости разрушения данной керамики, что может позволить производить изделия с высокими прочностными характеристиками, эксплуатируемые в условиях длительных, циклических и динамических механических нагрузок.

Увеличение вязкости разрушения в керамике на основе диоксида циркония возможно путем реализации нескольких механизмов: эффекта трансформационного упрочнения, реализуемого за счет тетрагонально-моноклинного фазового перехода, армирование введением высокомодульных многослойных углеродных нанотрубок и реализации механизма Кука-Гордона, заключающегося в поглощении и рассеивании энергии распространяющейся трещины низко модульными включениями нитрида бора [3,4].

Целью настоящей работы является выявления вкладов различных механизмов упрочнения в механические параметры керамоматричного композита на основе диоксида циркония с включениями многослойных углеродных нанотрубок и нитрида бора.

Пористость исследуемых композитов ZrO_2 -BN, ZrO_2 -CNT, ZrO_2 -BN-CNT оценена методом гидростатического взвешивания. Предел прочности на разрыв оценен методом «Бразильской пробы» [5]. Зависимость предела прочности от состава композита представлена на рисунке 1.