Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 2 (2008 1) 162-167
~ ~ ~

УДК 670

Влияние добавок ультрадисперсного Al_2O_3 на физико-механические свойства корундовой керамики

Егор И. Степанов, Михаил В. Григорьев, Владимир И. Кирко
Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79 [1]

Received 5.04.2008, received in revised form 28.04.2008, accepted 5.05.2008

В работе исследовано влияние ультрадисперсного Al_2O_3 на физико-механические свойства корундовой керамики.

Ключевые слова: ультрадисперсный Al_2O_3, корундовая керамика, физико-механические свойства.

Одним из перспективных способов улучшения физико-механических свойств конструкционных и керамических материалов считается введение в матрицу добавок нанопорошков [1]. В этом случае увеличиваются их прочностные характеристики, увеличивается плотность и, соответственно, уменьшается пористость, что является существенным для вакуум-плотной керамики.

Известно, что некогерентные включения в матрице могут быть источниками, эмитирующими дислокации, которые при деформации пересекают первоначальные плоскости скольжения и вызывают дополнительное упрочнение матрицы [2].

В настоящее время в качестве вакуум-плотной керамики широко используются марки А-98 и ВК-94-1, химический состав которых приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав керамики А-98 и ВК-94-1

% марка	Al_2O_3	SiO_2	MnO	Cr_2O_3	TiO_2
А-98	98	-	-	-	2
ВК-94-1	94,39	2,77	2,35	0,49	-

Целью настоящей работы было исследование влияния добавок ультрадисперсного Al_2O_3 на физико-механические свойства корундовой керамики А-98 и ВК-94-1.

* Corresponding author E-mail address: jungern@yandex.ru
1 © Siberian Federal University. All rights reserved

В качестве присадки был использован ультрадисперсный порошок (УДП) α-Al_2O_3, синтезированный взрывным методом. Средний размер его частиц составлял 77 нм.

Образцы корундовой керамики синтезировались методом порошковой металлургии. В подготовленную шихту керамики А-98 и ВК-94-1 добавлялся УДП Al_2O_3. Полученная смесь подвергалась гомогенизации в шаровой мельнице. Для придания сырцам прочности после прессования в качестве связки использовался 10 %-й раствор поливинилового спирта (ПВС). Навески массой 2 г прессовались под давлением 100 МПа. Полученные образцы спекали в муфельной печи в интервале температур 1300-1600 °С в атмосфере воздуха в режиме скорости нагревания 1 °С в минуту с последующей выдержкой при заданной температуре в течение одного часа.

Спеченные образцы подвергались следующим исследованиям:

- структура и фазовый состав исследовались методом рентгеноструктурного анализа на установке ДРОН-3м;
- плотность измерялась методом гидростатического взвешивания;
- механическая прочность на сжатие и модуль упругости Юнга исследовались на установке “Instron-1185” (скорость движения пуансона составляла 0,02 мм/мин).

Согласно данным рентгеноструктурного анализа, структура синтезированных керамик ВК-94-1 и А-98 преимущественно кубическая, что обусловлено преобладанием в образцах фазы α-Al_2O_3. На рентгенограммах наблюдалось уменьшение уровня фона с увеличением концентрации УДП. Последнее может свидетельствовать об активизации процессов твердофазного спекания, массопереноса и уменьшения остаточной аморфной составляющей [3]. Во всех рентгенограммах обнаружен сдвиг пиков по углам 2Θ на 0,04-0,08°, что объясняется в случае керамики А-98 внедрением атомов Ti в атомную решетку корунда и увеличением межплоскостного расстояния.

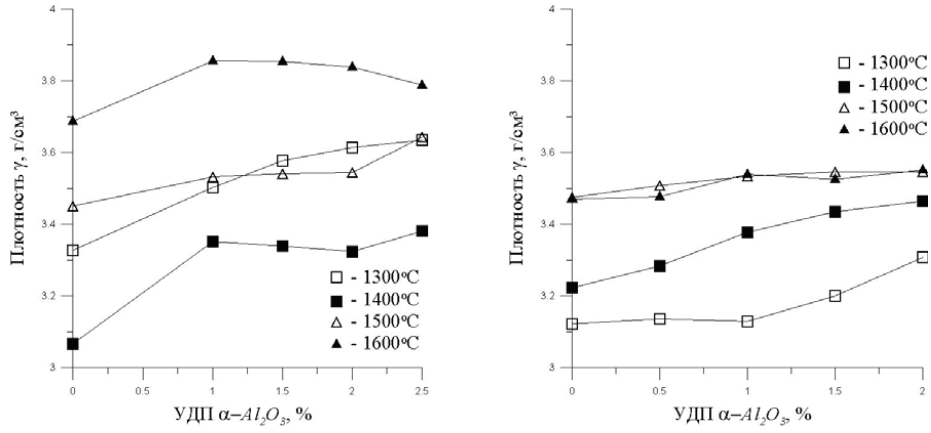
На рис. 1 (а, б) приведены зависимости плотности керамики А-98 и ВК-94-1, а на рис. 2 (а, б) – коэффициенты их линейной усадки от концентрации УДП соответственно.

Как видно из рисунков, плотность керамики возрастает как от увеличения добавки УДП Al_2O_3, так и от повышения температуры спекания. Максимальное значение плотности составляет 3,85 г/см^3 при 1600 °С и 1 % УДП Al_2O_3, при этом остаточная пористость не превышает 3 %.

Усадка керамики увеличивается с ростом температуры и достигает 28 % при обжиговой температуре 1500 °С в образцах с добавкой 2 % УДП.

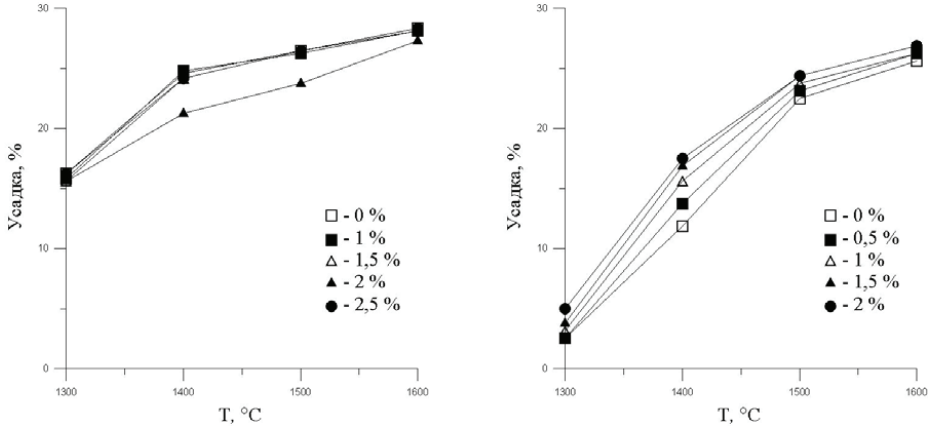
Возрастание плотности керамики с увеличением концентрации УДП объясняется дисперсным ее упрочнением за счет заполнения УДП мест тройных стыков и пор. Начало усадки керамики было зарегистрировано при температуре 1200 °С, а в интервале температур от 1300 до 1500 °С скорость усадки достигала наибольшего значения. Как свидетельствуют работы [4, 5], последнее определяется зернограничным скольжением и образованием агрегатов. Кроме того, уплотнение (с более низкой скоростью) происходит за счет увеличения площадей контактов между частицами в результате активации диффузионных процессов.

На рис. 3 (а, б) приведены зависимости модуля Юнга от концентрации УДП α-Al_2O_3 керамик А-98 и ВК-94-1 соответственно. Модуль Юнга в обоих случаях увеличивается с концентрацией УДП и достигает в первом случае 3200 МПа, а во втором — 4010 МПа (при температуре спекания 1600 °С).



а) б)

Рис. 1. Зависимость плотности керамики А-98 (а) и ВК-94-1 (б) от концентрации УДП α-Al_2O_3



а) б)

Рис. 2. Зависимость коэффициента линейной усадки керамики А-98 (а) и ВК-94-1 (б) от концентрации УДП α-Al_2O_3

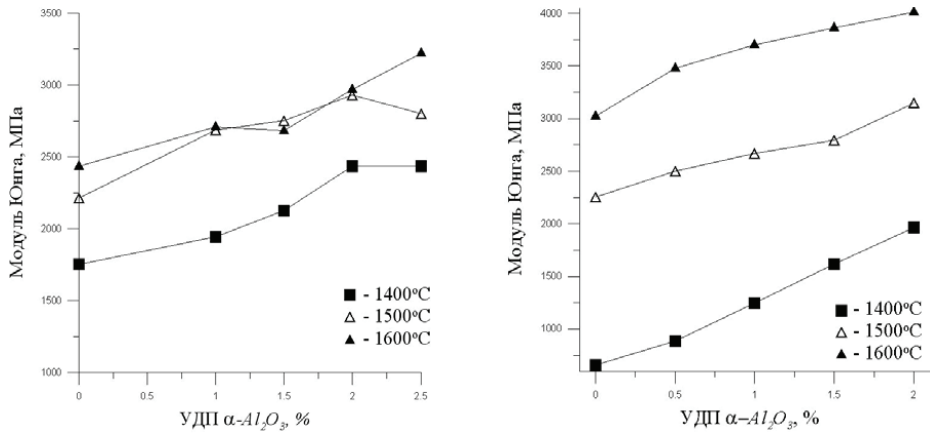


Рис. 3. Зависимости модуля Юнга керамики А-98 (а) и ВК-94-1 (б) от концентрации УДП α-Al_2O_3

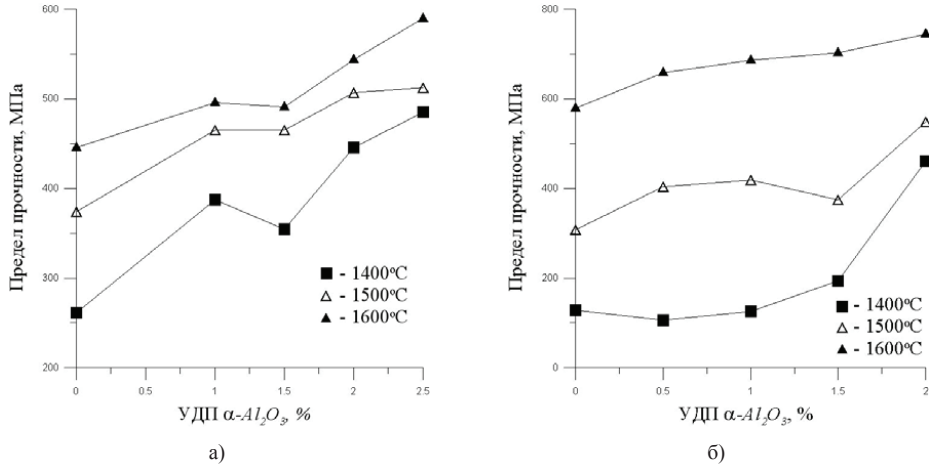


Рис. 4. Зависимость предела прочности керамики А-98 (а) и ВК-94-1 (б) от концентрации УДП α-Al_2O_3

На рис. 4 (а, б) приведены зависимости предела прочности от концентрации УДП α-Al_2O_3 керамик. Предел прочности увеличивается с концентрацией УДП (по сравнению с исходными значениями) и достигает 590 МПа (при температуре спекания 1600 °С) в случае керамики А-98 и 750 МПа – в случае керамики ВК-94-1.

Как видно из графиков, прочностные характеристики керамики с добавками УДП, благодаря формированию нанокристаллических включений с термически устойчивой высокодисперсной структурой и активизации процессов твердофазного спекания, возрастают от 15 до 25 % в сравнении с материалами, полученными по традиционным технологиям при более высоких температурах. Эффект совпадает с литературными данными [6].

Выводы

1. Показано, что добавка 2,5 % УДП Al_2O_3 в шихту корундовой керамики приводит к увеличению механической прочности и модуля Юнга на величины, достигающие 25 %.

2. Эффективность легирования существенным образом зависит от процентного содержания частиц ультрадисперсной фракции.

3. Достижение идентичных физико-механических характеристик керамики позволяет уменьшить температуру их окончательного обжига на 150-200 °С.

Авторы благодарны д.ф.-м.н., проф. С.Н. Кулькову (ИФПиМ СО РАН) за оказанное содействие в работе.

Список литературы

1. Лякишев Н.П. Нанокристаллические структуры – новое направление развития конструкционных материалов / Н.П. Лякишев // Вестник РАН. - 2003. - Т. 73. - № 5. - С. 422.
2. Анциферов В.Н. Порошковая металлургия / В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров и др. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.
3. Орован Е. Классическая и дислокационная теория хрупкого разрушения / Е. Орован // Атомный механизм разрушения. - М.: Металлургия, 1963. – С. 170-184.
4. Ansell G.S. Theory of high-temperature creep rate in two-phase alloys / G.S. Ansell, J. Weertman // Transt. Metal. Soc. AIME. – 1959. – V. 215. – № 7. - P. 838-845.
5. Гордеев Ю.И. Изучение свойств и особенностей консолидации ультрадисперсных порошков, полученных различными методами / Ю.И. Гордеев // Научная сессия «НС-89». - Болгария, 1989.- С. 31.
6. Абкарян А.К. Моделирование процессов уплотнения керамик, получаемых из бимодальных порошковых смесей, содержащих наночастицы / А.К. Абкарян // Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы: получение, свойства, применение (третьи Ставеровские чтения): материалы Всероссийской научно-технической конференции. - Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. - 272 с.

Influence of Ultra Dispersive Al_2O_3 Additions on the Physical- Mechanical Properties of Corundum Ceramics

Egor I. Stepanov, Mikhail V. Grigoriev and Vladimir I. Kirko
Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

In the paper there were carried out investigations of the influence of ultra dispersive Al_2O_3 additions on physical mechanical properties of corundum ceramics.

Key words: ultra dispersive Al_2O_3, corundum ceramics, mechanical properties