

источника излучения (эффективное фокусное пятно рентгеновской трубки) составляет 0,5 мм X 0,8 мм, что близко к паспортному значению.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность использования пинхол камеры для определения размеров источников рентгеновского излучения.

1. Иванов С.А. Рентгеновские трубки технического назначения [Текст] / Иванов С. А., Г. А. Щукин – Л.: Энергоатомиздат, 1989.– 201 с.

2. Дудчик Ю.И. Рентгеновский микроскоп на основе короткофокусной многоэлементной преломляющей линзы // Вест. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика.- 2009.- №2– С. 38 - 43.
3. Дудчик Ю.И., Хуанг Ч., Му Б., Ванг Т., Пан Г. Рентгеновская микроскопия с использованием синхротронного излучения и элементов преломляющей рентгеновской оптики // Вест. Белорус. гос. ун-та. Сер.1, Физика. Математика. Информатика.-2010.- №2– С. 24 - 28.

УДК 681

ТЕРМОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯТОРОВ

Дятлова Е.М.¹, Попов Р.Ю.¹, Шамкалович В.И.²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Развитие современных технологий неразрывно связано с необходимостью разработки новых технических материалов. Большинство технологических процессов, существующих на сегодняшний день, включают температурную обработку полуфабриката изделий, что в свою очередь стимулирует совершенствование тепловых агрегатов и материалов, применяемых при их создании. Наиболее перспективными, среди общего многообразия, являются керамические материалы. При этом особое внимание, по нашему мнению, следует уделить технической керамике на основе магний-алюмосиликатной, литийалюмосиликатной и алюмотитансиликатной систем [1-6]. Материалы, синтезированные на основе указанных систем, обладают набором ценных свойств: высокая механическая прочность, удельное электросопротивление, а также достаточная химическая устойчивость к агрессивным средам.

Целью настоящего исследования является разработка составов масс технической керамики с высокими термомеханическими и электроизоляционными характеристиками, предназначенной для тепловых агрегатов в качестве конструктивных термо- и электроизоляционных элементов.

Синтез термостойких керамических материалов осуществлялся на основе систем MgO–Al₂O₃–SiO₂, Li₂O–MgO–Al₂O₃–SiO₂ и Al₂O₃–SiO₂–TiO₂, и параллельно в трех указанных выше системах. В качестве сырьевых материалов применялись огнеупорная глина, тальк, технический глинозем, кварцевый песок. Литий в состав керамических композиций вводился карбонатом, а титан – оксидом. Образцы керамики получались полусухим прессованием на гидравлическом прессе при давлении 35–50 МПа из порошков с влажностью 6 – 9 %. Затем они сушились в элек-

трическом шкафу при температуре 110–120 °С до постоянной влажности, после чего обжигались в электрической муфельной печи в интервале 1200 – 1400 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Для проведения исследований, определяемой целью и задачами настоящей работы, были выбраны в системе MgO – Al₂O₃–SiO₂ составы смесей, лежащие на линии, соединяющей точки кристаллических фаз кордиерита и муллита. На основе указанных составов было исследовано влияние различных модификаторов с целью изменения термомеханических характеристик материалов, а также проведен эксперимент по созданию различных структурных сочетаний при использовании в качестве матрицы указанных составов и специально предварительно синтезированного наполнителя.

После обжига в интервале температур 1200 – 1400 °С материалы, синтезированные на основе указанной системы, характеризовались следующими показателями свойств: открытая пористость – 19,0 – 26,0 %; кажущаяся плотность – 2400 – 2700 кг/м³; водопоглощение – 7 – 11%; ТКЛР – (13 – 47)·10⁻⁷ K⁻¹, механическая прочность при изгибе – 88 – 110 МПа, удельное объемное сопротивление – 10¹¹ Ом·см.

Другой системой, представляющей интерес для синтеза керамических материалов с низким температурным коэффициентом линейного расширения и высокой термостойкостью является система Al₂O₃–SiO₂–TiO₂. В данной системе образуются двойные соединения: тиалит (система Al₂O₃·TiO₂) и муллит (3Al₂O₃·2SiO₂) [2–5].

Тиалит характеризуется анизотропией строения кристаллической решетки и, в связи с этим, чрезвычайно низким и даже отрицательным ТКЛР. Сочетание малорасширяющегося, но малопрочного тиалита с высокоогнеупорным и

высокопрочным муллитом является предпосылкой для получения термостойких с достаточной прочностью керамических материалов. Поэтому наибольший интерес представляют составы смесей, лежащие в полях кристаллизации муллита и тиалята, причем в высокотемпературной области системы, поскольку известно, что увеличение содержания Al_2O_3 в материале сопровождается соответствующим повышением и стабилизацией всех рабочих свойств керамики. При этом следует учесть возможность присутствия рутила (TiO_2) и его влияние на свойства синтезируемых керамических материалов. Известно [2,3,5], что при охлаждении рутилсодержащей керамики образуются микротрещины, и за счет этого средний ТКЛР такого материала оказывается ниже, чем у отдельных кристаллов TiO_2 . При нагревании эти трещины могут сужаться и ТКЛР оказывается еще ниже [3,5].

Исследования широкой области составов в системе $Al_2O_3-SiO_2-TiO_2$, показали, что фазовый состав материалов и преобладающая фаза в значительной степени зависят от содержания Al_2O_3 . Установлено, что в составах, содержащих до 30 мас. %, преимущественно выделяется тиалят, сопутствующими фазами являются муллит и рутил. В образцах с 30–50 мас.% Al_2O_3 преобладают две фазы – муллит и тиалят, а при содержании более 50 мас. % Al_2O_3 преобладает муллит с небольшим количеством тиалята. Фазовый состав как качественно, так и количественно зависит от температуры спекания. Малорасширяющаяся фаза – тиалят активно формируется только при температурах выше 1350 °С, максимальное его выделение наблюдается при 1400 °С. Ощутимое снижение ТКЛР наблюдается только при активной кристаллизации тиалята (выше 1300 °С). Синтезированный материал обладает значительной открытой пористостью до 20 %, что делает возможным активизацию процесса спекания, однако при этом следует отметить, что увеличение степени спекания и гомогенизации структуры материала может увеличить скорость распространения возникающих термических трещин, особенно магистральной. Проведенные исследования по снижению пористости и водопоглощения с помощью минерализаторов типа RO, R_2O показали, что наиболее эффективны в данном направлении оксиды олова и циркония, а наименее – оксиды двухвалентных металлов (CaO, MgO, BaO, SrO). Однако при снижении пористости и водопоглощения керамики за счет интенсификации процесса спекания происходит перераспределение структурных составляющих. Уменьшается количество выделяемого тиалята, при этом растет количество рутила и стекловидной фазы. Это приводит к повышению ТКЛР. В связи с этим даже при увеличении механической прочности термическое

сопротивление такой керамики значительно снижается, что оказывает неблагоприятное влияние на термостойкость. В данной системе нежелательно изменять фазовый состав, а воздействие на термостойкость целесообразно осуществлять, изменяя микроструктуру материалов, делая ее микрогетерогенной. В качестве одного из объектов исследования с целью получения термостойкой керамики представляют интерес материалы четырехкомпонентной системы $Li_2O-MgO-Al_2O_3-SiO_2$. На ее основе получены материалы с ТКЛР менее $10 \cdot 10^{-7} K^{-1}$ и достаточно высокими показателями прочности, что существенно увеличивает термостойкость изделий. Исследования керамических материалов, синтезированных на основе системы $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$ свидетельствуют о том, что наиболее целесообразно синтезировать керамику с учетом формирования в нем кристаллической фазы сподумена ($Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$). Именно эта кристаллическая фаза имеет близкий к нулю ТКЛР. Кроме того, следует отметить, что температура обжига литевой керамики относительно невысока и составляет 1200–1250 °С, что обеспечивает менее энергоемкую технологию получения изделий. Свойства экспериментальных керамических образцов, обожженных в интервале температур 1100–1200 °С свидетельствуют о достаточно высоких показателях: открытая пористость – 21,0–33,0 %; кажущаяся плотность – 1590–1890 kg/m^3 ; водопоглощение – 11–25 %; ТКЛР – $(0,10–0,13) \cdot 10^{-7} K^{-1}$, механическая прочность при изгибе – 53–204 МПа, удельное объемное сопротивление $10^8–10^9 Om \cdot cm$. Низкое значение ТКЛР является залогом высокой термостойкости образцов. Результаты определения термостойкости подтвердили высокую устойчивость опытных образцов к термоудару. Образцы выдержали более 80 теплосмен нагрева до температуры 800 °С и охлаждения в проточной воде. Исследования опытных образцов керамики методом РФА показало, что основной кристаллической фазой является сподумен. Отмечается, что увеличение содержания Li_2O способствует формированию сподумена, при этом образование муллита не наблюдается. Кроме того, при увеличении доли SiO_2 в сырьевой композиции происходит обогащение сподуменного твердого раствора кремнеземом, что отражается на рентгенограммах образцов. Таким образом, разработанные керамические материалы обладают высокими термомеханическими и электроизоляционными свойствами и могут найти широкое применение для термостойких электроизоляционных печей сопротивления, индукционных установок и других тепловых агрегатов.

1. Авакумов, Г.Н. Кордиерит – перспективный керамический материал / Г.Н. Авакумов, А.А.

- Гусев. – Новосибирск: Наука, 1999. – 167 с.
2. Кингери, У.Д. Введение в керамику / У.Д. Кингери. – М.: Издательство литературы по строительству, 1967. – 498 с.
 3. Балкевич, В.Л. Техническая керамика / В.Л. Балкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
 4. Бобкова, Н.М. Общая технология силикатов / Н.М. Бобкова, Е.М. Дятлова, Т.С. Куницкая. –

Минск: Высшая школа, 1987. – 287 с.

5. Будников, П.П. Новая керамика / П.П. Будников. – М.: Стройиздат, 1969. – 139 с.
6. Бобкова, Н.М. Проблемы получения термостойкой, высокопрочной и жаростойкой керамики / Н.М. Бобкова // Стекло и керамика. – 1992. – №7. – С. 12 – 14.

УДК 621.326

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ ЛУЧЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Журавок А.А., Сернов С.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При компьютерном моделировании оптических систем широко используется расчет действительных лучей. Гораздо меньше внимания уделяется расчету лучей, близких к данному действительному, или бесконечно узких пучков. Однако дополнение модели оптической системы математическим аппаратом дифференциалов лучей является перспективным в плане повышения точности.

При расчетах удобно связывать с каждой поверхностью, так называемую систему координат Федера [1], начало которой помещено в вершину поверхности, а плоскость XOY касается поверхности. Оптическая поверхность описывается уравнением в этой системе координат:

$$f(s) = 0, \quad (1)$$

где $s = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ – радиус-вектор точки на поверхности.

В каждой точке поверхности определены вектор g градиента функции $f(s)$, то есть вектор нормали к поверхности и симметрическая матрица Гессе H вторых производных f по s или первых производных g по s :

$$g = \frac{\partial f}{\partial s}, \quad H = \frac{\partial^2 f}{\partial s^2} = \frac{\partial g}{\partial s} \quad (2)$$

Действительный луч определяется двумя векторами: радиус вектором s точки пересечения луча с поверхностью и ортом a направления, что наглядно показано на рисунке 1.

Определим дифференциал луча как совокупность приращений ds и da векторов s и a соответственно. Указанные векторы удовлетворяют следующим соотношениям:

$$|a|^2 = a^T a = 1; \quad (3)$$

$$(g, ds) = g^T ds = ds^T g = 0; \quad (4)$$

$$(a, da) = a^T da = da^T a = 0; \quad (5)$$

где запись $a^T da$ используется для скалярного произведения векторов в матричной форме

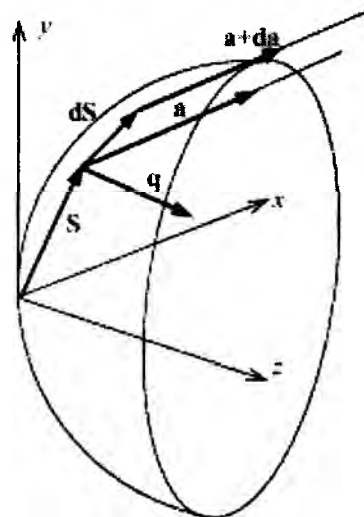


Рисунок 1 – Действительный луч и дифференциал луча

Векторы s , a и ds , da можно объединить в шестимерные векторы x и dx луча и дифференциала луча

$$x = \begin{pmatrix} s \\ a \end{pmatrix}; \quad dx = \begin{pmatrix} ds \\ da \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Пусть известны векторы x'_{k-1} луча и dx'_{k-1} дифференциала этого луча, преломленные на предыдущей поверхности, в системе координат, связанной с предыдущей поверхностью. Пусть также известны вектор d_{k-1} и ортогональная матрица Φ_{k-1} показывающие положение и ориентацию системы Федера данной поверхности относительно предыдущей, параметры уравнения (1) данной поверхности и относительный показатель преломления $n_r = n/n'$ для данной поверхности. Необходимо найти векторы x'_k и dx'_k , преломленные на данной поверхности. Повторяя этот процесс циклически, от первой поверхности до последней, произведем расчет луча через систему поверхностей. Расчет луча через одну поверхность разбивается на три этапа.