излучение.

Аджиева М.Д., Шалагин Р.В., Лелюхин А.С., Каныгина О.Н. Оренбургский государственный университет

E-mail: fit2007@inbox.ru

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПОРИСТОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ РАДИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Рассматривается проблема испытаний радиационного измерителя пористости. Описана методика создания эталонных образцов с заданной макропористостью. Представлены экспериментальные данные, отражающие влияние условий генерации рентгеновского излучения на результаты измерений. Показано, что зависимость коэффициента приведенного рассеяния от пористости керамических образцов имеет квазилинейный характер. Ключевые слова: макропористость, коэффициент приведенного рассеяния, рентгеновское

Поровое пространство, формируемое в объеме керамических материалов, может характеризоваться величиной интегральной пористости, заданной отношением объема пор к объему образца. Бесконтактные методы измерения пористости предполагают анализ оптических или рентгеновских изображений фрагментов исследуемых образцов, но при этом не имеется однозначных критериев для идентификации границ пор и нахождения соотношения площадей пор и объекта.

В работе [1] описана рентгенооптическая схема радиационного измерителя пористости (РИП) и предложено оценивать пористость по величине коэффициента приведенного рассеяния (КПР), определяемого по отношению интенсивностей полей рассеянного и ослабленного рентгеновского излучений, возникающих при облучении керамических образцов заданной формы. Однако нераскрытым остался вопрос испытаний РИП и учета факторов, обуславливающих достоверность измерений.

Цель

Исследование влияния условий генерации рентгеновского излучения на величину коэффициента приведенного рассеяния при измерениях пористости керамических материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: отработать методику и изготовить эталонные образцы с заданной макропористостью, оценить макропористость образцов известными методами, получить экспериментальные зависимости КПР от макропористости эталонных образцов, выявить влияние анодного напряжения, тока анода, суммарной фильтрации излучения и фокусного расстояния на величину КПР.

Материалы и методы

Очевидно, что РИП должен калиброваться под каждую группу образцов с заданным составом исходной смеси. В нашем случае эталонные образцы для испытаний изготавливались из монтмориллонит содержащей глины Оренбургского месторождения [2].

Для формирования макропорового пространства в исходную керамическую смесь добавлялись микрогранулы из полиэтилена высокого давления марки 10803-020. Введение 5, 10 и 15 процентов микрогранул по массе обеспечило расчетную пористость образцов 5,2; 9,8 и 14,0 процентов. Образцы изготавливались в форме цилиндров. После обжига их средний диаметр составил 16,0±0,6 мм, высота 39±1 мм.

Пористость эталонных образцов оценивалась визуально-оптическим методом по оптическим изображениям шлифов и по компьютерным томограммам и методом водопоглощения.

Обработка изображений и расчет пористости выполнялись в среде математического моделирования MathCAD 14.

Экспериментальная проверка работы радиационного измерителя пористости осуществлялась в специализированной лаборатории «ООО УРАЛРЕНТГЕН» на рентгеновском аппарате 12Л7УР с частотным питающим устройством.

Для контроля анодного напряжения и суммарной фильтрации излучения использовался универсальный дозиметр рентгеновского излучения Piranha. Контроль мощности дозы на ра-

Влияние условий генерации рентгеновского излучения при измерениях

бочем месте оператора осуществлялся дозиметром рентгеновского и гамма-излучения ДКС-АТ1123.

При выполнении экспериментального исследования оборудование размещалось согласно рентгено-оптической схеме, описанной в [1], дополнительная фильтрация задавалась пластинами из высоко чистого алюминия, толщиной 1,8 мм, коллимация пучка обеспечивалась штатной диафрагмой рентгеновского аппарата.

Результаты и обсуждения

Макропоровое пространство на примере микрофотографии скола образца (температура обжига 900 °С, массовая доля микрогранул 10%), шлифа торца образца (температура обжига 700 °С; массовая доля микрогранул 15%) и сечения образцов на томографическом срезе (группа образцов слева направо, сверху вниз по парам – массовая доля микрогранул/температура обжига: 0%/700 °C; 5%/700 °C; 10%/700 °C; 15%/700 °C; 0%/500 °C; 5%/900 °C; 10%/500 °C; 15%/500 °C; 0%/900 °C; 5%/900 °C; 10%/900 °C; 15%/900 °C) демонстрируется рисунками 1, 2 и 3.

На сколе образца и на шлифе хорошо просматривается макропоровое пространство, четко видны границы макропор. Можно отметить, что форма и размеры макропор соответствуют форме и размерам полиэтиленовых микрогранул (рисунок 1). На томограмме (рисунок 3) черный цвет сопоставлен воздуху. Видно, что с увеличением макропористости эталонных образцов их рентгеновская плотность приближается к рентгеновской плотности воздуха. Образец из фторопласта использовался для контроля вычислительного алгоритма при расчете пористости.

Количественно пористость образцов оценивалась по оптическим изображениям шлифов и томографическим срезам путем нахождения отношения площадей макропор к общей площади исследуемых участков. Результаты измерений отражает таблица 1.

Водопоглощение образцов, обожженных при 900 °C, составило 9,5%, 13,5% и 17,5% в порядке увеличения массовой доли микрогранул в смеси. При меныших температурах обжига твердофазный каркас не формируется, монтмориллонит интенсивно набирает воду, водопоглощение резко увеличивается и уже не отражает величины открытой пористости образцов [3].

Для заданных режимов генерации рентгеновского излучения строились зависимости КПР керамических образцов от массового содержания микрогранул в исходной смеси. На гомогенном фантоме из фторопласта-4 исследовалось влияние на величину КПР анодного напряжения, анодного тока, дополнительной фильтрации излучения и фокусного расстояния.

Экспериментально установлено, что зависимость КПР от макропористости образцов имеет квазилинейный характер (рисунок 4).





Рисунок 1. Макропоровое пространство, сформированное в объеме эталонного образца в результате выгорания микрогранул при обжиге (средний диаметр макропор 300 – 500 мкм) – слева и полиэтиленовые микрогранулы (диаметр точки координатной сетки 60 мкм) – справа.

Технические науки

Причем КПР образцов, обожженных при разных температурах, группируются в окрестностях точек с заданной массовой долей микрогранул. Для необожженных образцов вид зависимости не меняется, но КПР имеет большие значения, что обуславливается рассеянием излучения в полиэтиленовых микрогранулах, заполняющих объем макропор.

Оценка инструментальной погрешности измерительной системы, включающей рентгено-



Рисунок 2. Макропоровое пространство, визуализирующееся на шлифе эталонного образца (средний диаметр макропор 300 – 500 мкм)



Рисунок 3. Томографический срез фантома, включающего эталонные образцы с различной макропористостью, обожженные при разных температурах (правый нижний образец выполнен из фторопласта-4)

вский излучатель, РИП и восьмиканальный USB – АЦП, была выполнена по экспериментальным данным, полученным при идентичных внешних условиях путём расчёта среднего значения величины КПР и с.к.о. за время одной экспозиции для гомогенного фантома. В этом случае фокусное расстояние, фильтрация, геометрические размеры образцов и их пористость остаются неизменными, а величина КПР в каждый момент времени определяется стабильностью рентгеновского источника и шумами детекторов и электроники.

Дрейф КПР во время рентгеновского импульса иллюстрируется рисунком 5.

Согласно данным серии измерений, инструментальная погрешность измерительной системы в среднем не превышала 4%.

Экспериментально было установлено, что изменения КПР, обусловленные изменениями анодного тока рентгеновской трубки в широком диапазоне значений от 18,1 до 36,4 мА, укладываются в 0,4%. Таким образом, в сравнении с инструментальной погрешностью, влияние вариаций тока рентгеновской трубки незначимо и в дальнейшем их можно не учитывать.

Гораздо в большей степени на величину КПР влияет анодное напряжение. Характер изменения КПР в диапазоне анодных напряжений 60–100 кВ отражают графики на рисунке 6.

Полученные кривые хорошо описываются полиномиальной функцией второго порядка, что обусловливает линейную зависимость градиента КПР от напряжения. Таким образом,

Температура обжига, °С	Массовая доля микрогранул, %	Пористость по КТ сканам, %	Пористость по оптическим сканам, %
900	5	5,4	3,6
	10	9,8	9,6
	15	11,4	13,6
700	5	4,6	6,3
	10	9,2	10,9
	15	16,8	14,6
500	5	5,2	5,7
	10	10,6	10,3
	15	16,3	15,9

Таблица 1. Результаты оценки пористости эталонных образцов

Аджиева М.Д.

Влияние условий генерации рентгеновского излучения при измерениях

вариации анодного напряжения оказывают одинаковое воздействие на результаты измерений КПР в независимости от положения рабочей точки по напряжению. Выбор потенциала анода определяется щадящим режимом работы рентгеновской трубки и уровнем выходных сигналов усилителей.

На результаты измерения КПР оказывают влияние также дополнительная фильтрация и расстояние от фокуса рентгеновской трубки до измерительной ячейки.

Установлено, что КПР линейно зависит от фокусного расстояния. Причем, при изменении фокусного расстояния в диапазоне от 40 до 140 см погрешность в измерении КПР составляет более 8%. Таким образом, при измерениях пористости фокусное расстояние должно быть фиксированным. Выбор оптимального фокусного расстояния определяется расхождением рентгеновского пучка и величиной сигналов детектора. Экспериментальные данные показывают, что фокусное расстояние должно быть не менее 70 см. Поскольку градиент КПР с увеличением фокусного расстояния сильно меняется в диапазоне до 60 см и почти не меняется в диапазоне от 60 до 110см.

Согласно экспериментальным данным, при изменении дополнительной фильтрации

в диапазоне от 1,8 до 7,2 мм погрешность в измерении КПР составляет более 3,5%, что сравнимо с величиной инструментальной погрешности. Установлено, что КПР линейно зависит от величины дополнительной фильтрации (рисунок 7).

Причём, когда фильтры располагаются в плоскости входного окна РИП – КПР растет с увеличением толщины фильтра. Если же фильтры располагаются непосредственно на выходе рентгеновского излучателя, то КПР линей-



Рисунок 4. Экспериментальные зависимости коэффициента приведенного рассеяния от массовой доли микрогранул в исходной смеси для обожженных и необожженных образцов



Рисунок 5. Шумовая дорожка измерительной системы во время рентгеновского импульса, сформированная флуктуациями КПР (по оси абсцисс отложен номер отсчета, частота выборок 30 кГц)



Рисунок 6. Экспериментальные зависимости КПР от величины «уставки» анодного напряжения при различной дополнительной фильтрации излучения (фокусное расстояние 120 см, фильтр размещен в плоскости входного окна РИП)

но убывает. Последнее полностью согласуется с результатами моделирования, выполненного с помощью программы [4]. Очевидно, что в первом случае рассеянное в дополнительном фильтре излучение возникает в непосредственной близости от измерительной ячейки, а увеличение толщины фильтра приводит к увеличению доли рассеянного излучения, и, как следствие, к увеличению КПР. Во втором случае рассеянное в фильтре излучение практически не достигает измерительной ячейки вследствие углового расхождения пучка, а уменьшение КПР вызвано увеличением проникающей способности излучения.



Рисунок 7. Графики зависимости КПР от толщины дополнительного алюминиевого фильтра (напряжение на аноде 80 кВ, фокусное расстояние 90см)

Выводы

Полученные результаты показывают, что калибровка РИП должна осуществляться при заданных величинах собственной и дополнительной фильтрации излучения с учётом геометрии расположения дополнительных фильтров и фокусного расстояния; анодное напряжение должно быть стабильным во время измерений и хорошо воспроизводимым при повторных снимках; калибровочная функция для определения макропористости по измеренному значению коэффициента приведенного рассеяния может быть задана уравнением прямой. 15.07.2013

Список литературы:

Сведения об авторах:

Аджиева Марина Давлетиновна, аспирант кафедры общей физики

Оренбургского государственного университета

Шалагин Роман Викторович, студент физического факультета

Оренбургского государственного университета

Лелюхин Александр Сергеевич, доцент кафедры проектирования и технологии радиоэлектронных

средств Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент

Каныгина Ольга Николаевна, декан физического факультета Оренбургского государственного

университета, доктор физико-математических наук, профессор

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел.: (3532) 372439, e-mail: fit2007@inbox.ru

Аджиева М.Д., Кувшинов Н.А., Лелюхин А.С., Каныгина О.Н. Оценка пористости материалов по величине коэффициента приведенного рассеяния // Вестник ОГУ. – 2012.– №9 (145). – С. 118-122.

^{2.} Каныгина О.Н., Четверикова А.Г., Лазарев Д.А., Сальникова Е.В. Высокотемпературные фазовые превращения в железосодержащих глинах Оренбуржья //Вестник ОГУ. – 2010. – №6 (112). – С. 113-118.

Анисина И.Н., Каныгина О.Н., Четверикова А.Г. Синтез кремнеземистой керамики. – Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 82 с. ISBN 978-3-84542805-5.

Карягин М.А., Муслимов Д.А., Лелюхин А.С. «Модуль расчета коэффициента приведенного рассеяния для модели радиационного киловольтметра». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012618284 от 12.09.2012. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Россия.