

стички титанатов имеют субмикронный размер. Определены оптимальные условия синтеза для титаната стронция (1100 °С, 60 мин) и титаната кальция (1100 °С, 40 мин).

Синтезировано по 2 кг титанатов кальция и стронция для получения керамических материалов.

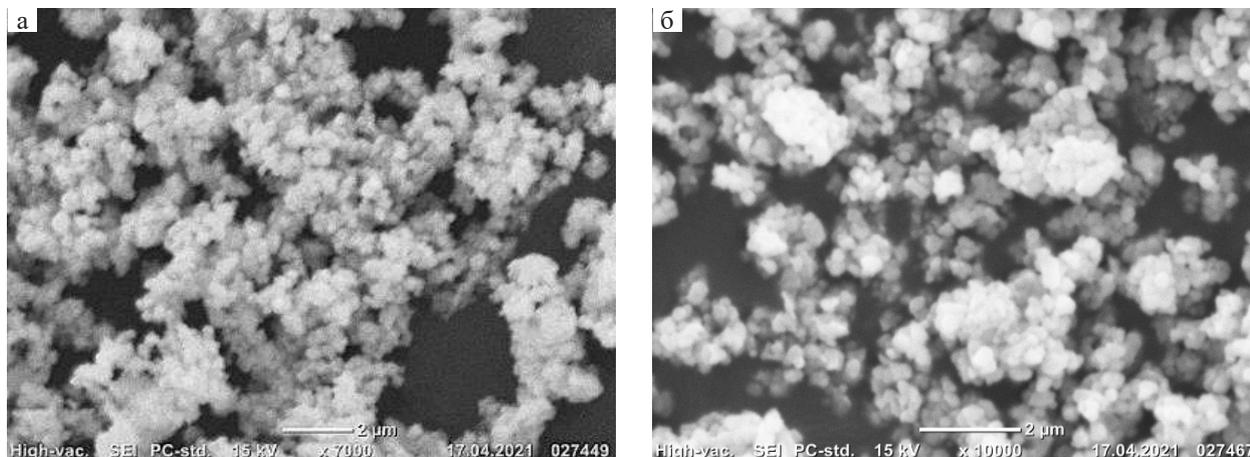


Рис. 1. Микроснимки синтезированных титанатов

а) SrTiO₃ синтезированного при 1100 °С и выдержке 60 мин; б) CaTiO₃ синтезированного при 1100 °С и выдержке 40 мин

Список литературы

1. Крстелев Е.Г., Лотоцкий А.П., Маслеников С.П. Мощные электроимпульсные системы. Часть 2. Учебное пособие. – М. : МИФИ, 2008. – 144 с. – ISBN 978-5-7262-1090-2.
2. Ушаков В.Я. Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции. – М. : Энергоиздат, 1988. – 152 С.
3. Воробьев Г.А., Еханин С.Г., Несмелов Н.С. Электрический пробой твердых диэлектриков // Физика твердого тела. – 2005. – Т. 47. – № 6. – С. 1048–1052.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ АНОРТИТОВОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ MgO-Fe₂O₃

А. В. Меженин, Н. П. Сергеев
Научный руководитель – к.т.н., м.н.с. Ш. М. Шарафеев

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
avm106@tpu.ru

Анортит CaO·Al₂O₃·2SiO₂ может быть легко получен как из различного природного (кальцийсодержащего и глинистого), так и техногенного (зол, шлаков, шламов) сырья, отличается низкой теплопроводностью (3,7 Вт/м·К) и коэффициентом термического расширения (4,8·10⁻⁶ °С⁻¹) при высокой температуре плавления (1553 °С) [1]. Плотноспечённая анортитовая керамика имеет нулевую открытую пористость, высокую механическую прочность (200–300 МПа), низ-

кую плотность (2,60–2,70 г/см³), достаточно высокую износо- и кислотостойкость. Недостатком чисто анортитовой керамики является неудовлетворительная спекаемость, которая улучшается без потери эксплуатационных свойств при введении ряда минерализующих добавок, таких как оксиды MgO и Fe₂O₃ [2, 3].

Целью работы является изучение влияния комплексной добавки MgO и Fe₂O₃ на спекание

и свойства анортитовой керамики на основе модельных смесей из природного сырья.

Для получения керамики использовалась эквимольная смесь каолина марки КАХ-1 и мела марки МТД-2, к которой в качестве добавок вводили до 20 % мас. прокаленного карбоната магния квалификации ЧДА (MgO) и окиси железа для ферритов марки А (Fe_2O_3) в различных соотношениях. Образцы-диски, сформованные полусухим прессованием, обжигались при температурах 1200–1350 °С с выдержкой 2 часа и исследовались гидростатическим методом для определения пористости и кажущейся плотности и рентгенофазовым методом для установления фазового состава.

Составы, без учёта потерь при прокаливании смеси мела и каолина в стехиометрии анортита, и их свойства представлены на рисунке 1. Керамика на основе чистого анортита спекается по твердофазному механизму и обладает высокой остаточной пористостью 32,5 % даже при температуре обжига 1350 °С. Добавка Fe_2O_3 в смесях с каолином и мелом практически не участвует в твердофазных реакциях, однако является плавнем при температурах более 1340 °С (эвтектика между Fe_2O_3 и анортитом). Добавка MgO взаимодействует с метакаолинитом $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ с образованием шпинели MgAl_2O_4 и форстерита Mg_2SiO_4 , что приводит к образованию избыточного относительно стехиометрии анортита оксида кальция и появлению эвтектических расплавов в системе $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

Комплексная добавка MgO и Fe_2O_3 позволяет получать плотноспечённую керамику при температурах обжига 1250–1300 °С. Наилучшую спекаемость демонстрируют материалы с содержанием MgO от 10 % и Fe_2O_3 от 2,5 %, однако при увеличении температуры обжига на 25 °С для них характерен пережог (в ряде случаев сопровождаемый полным расплавлением), что указывает на узкий интервал спекшегося состояния. Данные синхронного термического анализа показывают, что спекание материалов протекает с участием жидкой фазы, расплав интенсивно образуется за счёт эвтектик в системе $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ при температурах порядка 1170 °С и 1265 °С и эвтектики в системе $\text{CaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ при температуре 1215 °С.

Фазовый состав данных материалов представлен анортитом, стеклофазой и побочными фазами форстерита Mg_2SiO_4 , магнезиоферрита MgFe_2O_4 , шпинели MgAl_2O_4 , а также твёрдых растворов $\text{Mg}(\text{Al},\text{Fe})_2\text{O}_4$, которые должны положительно сказываться на механических свойствах керамики. При увеличении количества добавки MgO до 15 % и более в составе материалов появляются также другие фазы, предположительно, диопсид $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ и окерманит $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$. Исследованные составы керамики представляют интерес для получения строительных, конструкционных материалов, пенокерамики, легких керамических пропантов.

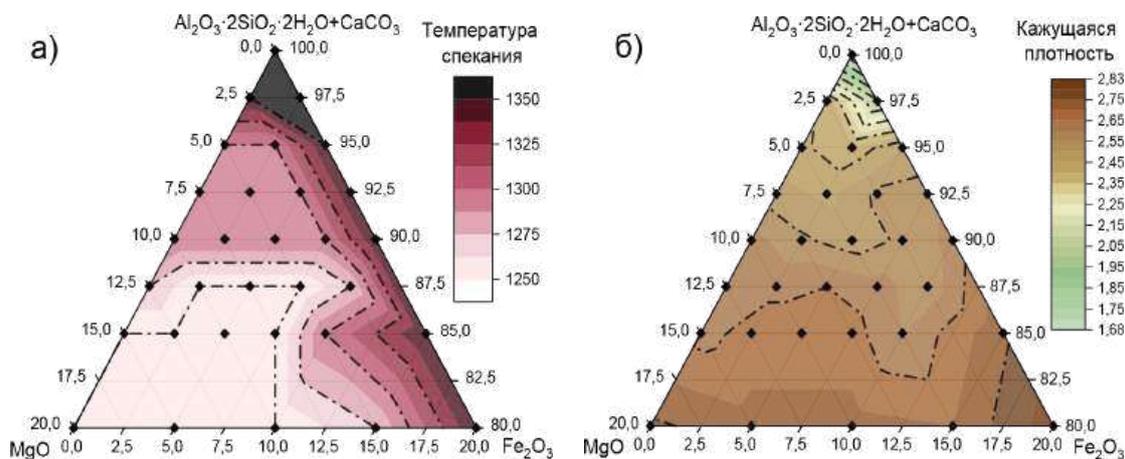


Рис. 1. Зависимость температуры спекания (а) и кажущейся плотности спечённой керамики (б) от состава смеси

Список литературы

1. *Fuertes V. et al. // J. Eur. Ceram. Soc. – 2022. – V. 42. – Iss. 2. – P. 307–326.*
2. *Liu M. et al. // Constr. Build. Mater. – 2020. – V. 259. – P. 120398.*
3. *Ren X. et al. // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 2015. – V. 25. – Iss. 1. – P. 137 – 145.*

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧЕЙ НА СИНТЕЗ СУЛЬФАТИРОВАННЫХ КЛИНКЕРОВ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ

Мин Хеин Хтет

Научный руководитель – д.т.н., профессор Е. Н. Потапова

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»

125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9

silver.coconut555@gmail.com.

Бетон на основе портландцемента является наиболее используемым строительным материалом во всем мире, и на его производство приходится около 5 % антропогенных выбросов CO_2 [1–2]. Альтернативой портландцементу с низким содержанием CO_2 являются сульфоалюминатные цементы (САЦ), которые содержат в качестве компонента клинкера около 30–70 мас. % сульфоалюмината кальция $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ (САК).

При исследовании процессов минералообразования при синтезе клинкеров с алюминатными шлаками, было показано, что шлаки вторичной переплавки алюминия содержат много различных примесных элементов – ионов калия, натрия, хлоридов, фосфатов и др. [3]. Поэтому для исследований вначале из чистых компонентов были синтезированы сульфоалюминатные клинкера с различным содержанием (0,5–5,0 мас. %) добавок KNO_3 , NaCl , CaHPO_4 , KCl и NaNO_3 . Исходные смеси были обожжены в течение 60 минут при температурах 1300 °С и 1350 °С.

После обжига в клинкерах определяли содержание неусвоенного оксида кальция. При введении в сырьевую смесь микродобавок NaCl , KNO_3 , CaHPO_4 и KCl и NaNO_3 происходит изменение скорости процессов минералообразования. В присутствии KNO_3 , CaHPO_4 , KCl и NaNO_3 количество введенной добавки сильно

влияет на наличие свободного CaO . Степень связывания CaO , как правило, повышается с увеличением концентрации добавки. С другой стороны, количество введенного NaCl не влияет на содержание свободного CaO в клинкере. Наиболее перспективными следует считать составы и режимы обжига, при которых образуется максимальное количества сульфоалюмината кальция (таблица 1).

Синтезированные клинкера были измельчены до удельной поверхности 350 м²/кг. В начале определяли водопотребность и сроки схватывания САЦ. Нормальная густота для всех составов составила 45 мас. %. Начало и конец схватывания цементов изменялся с 25 до 80 минут (начало) и с 160 до 330 минут (конец), соответственно, в зависимости от их состава.

Далее были изучены прочностные показатели цементного камня в возрасте от 1 до 28 суток. Для дальнейших исследований физико – химическими методами анализа формовали малые образцы 1×1×3 см (таблица 2).

Присутствие щелочей оказало значительное влияние на развитие прочности. Наибольшей прочностью в марочном возрасте характеризуется состав 4, содержащий 0,5 мас. % KCl , синтезированный при 1350 °С 60 мин – прочность на сжатие составила 47,1 МПа, а на изгиб – 7,0 МПа. Наименьшей прочностью обладал состав 5, со-

Таблица 1. Составы сульфоалюминатных клинкеров

	1	2	3	4	5
Добавка	0,5 мас. % NaCl	0,5 мас. % KNO_3	0,5 мас. % CaHPO_4	0,5 мас. % KCl	1,5 % NaNO_3
Режим обжига	1300 °С 60 минут	1300 °С 60 минут	1300 °С 60 минут	1350 °С 60 минут	1350 °С 60 минут