

УДК 666.7

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

© Канд. техн. наук *Е.М. Дятлова*, канд. техн. наук *О.А. Сергеевич*,
канд. техн. наук *Р.Ю. Попов*

Белорусский государственный технологический университет (БГТУ), г. Минск, Республика Беларусь



Дятлова Е.М.



Попов Р.Ю.

В статье приведены результаты синтеза и исследования теплоизоляционных керамических материалов на основе алюмосиликатного сырья Республики Беларусь с использованием поризующих выгорающих добавок. Установлены зависимости водопоглощения, кажущейся пористости, кажущейся плотности, теплопроводности, температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), механической прочности материалов от температуры обжига, а также от вида и количества выгорающей добавки. Рациональное сочетание основных кристаллических фаз — кварца, муллита, анортита, шпинели при условии хорошего спекания и формирования высокопористой структуры позволяют получать тугоплавкие теплоизоляционные керамические материалы на основе недефицитного сырья, что окажет существенное влияние на себестоимость изделий из них и позволит решать вопросы ресурсосбережения и импортозамещения.

Ключевые слова: глина, каолин, торф, лигнин, сапропель, теплоизоляционный материал, кирпич, пористость, плотность, теплопроводность.

The results of synthesis and research of thermal-insulating ceramic materials produced from aluminosilicate raw materials of the Republic of Belarus using burning-out additives are presented. Dependences of water absorption, apparent porosity, density, thermal conductivity, coefficient of thermal expansion, mechanical strength of materials on the sintering temperature, as well as on the type and amount of the burning-out additive are established. The rational combination of the main crystalline phases — quartz, mullite, anorthite, spinel, provided good sintering and the formation of a highly porous structure allow obtaining refractory heat-insulating ceramic materials on the basis of non-deficient raw materials, which will have a significant effect on the cost of the products and will solve the problems of resource saving and import substitution.

Keywords: clay, kaolin, peat, lignin, sapropel, thermal-insulating material, brick, porosity, density, thermal conductivity.

Введение. Как известно [1], теплоизоляционные изделия и конструкции, используемые в различных отраслях промышленности и теплоэнергетики, значительно сокращают потери тепла и холода, обеспечивают экономию топлива и энергии, обуславливают устойчивый режим работы технологического оборудования, создают безопасные условия труда. От качества огнеупорных теплоизоляционных материалов во многом зависит уровень развития ряда производств: в первую очередь, черной и цветной металлургии,

а также химической, газовой промышленности. Технический прогресс этих отраслей промышленности, как правило, связан с повышением температурных перепадов отдельных производственных процессов. Использование огнеупорных материалов в качестве высокотемпературных изоляторов позволяет длительное время поддерживать требуемую температуру в больших объемах с предельно ограниченным выделением теплоты в окружающую среду.

В Республике Беларусь отсутствует собственное производство тугоплавких

и огнеупорных теплоизоляционных материалов, их импортируют из-за рубежа. В качестве предпосылки для изготовления таких материалов имеются тугоплавкие глины и каолины собственных месторождений, недорогие топливные ресурсы, в т.ч. отходы производств. В настоящее время актуально использование местного сырья, например, каолинов. Наиболее крупное месторождение природных каолинов «Ситница» расположено в восточной части Лунинецкого района Брестской области. Каолины представляют собой кору выветривания гнейсов и гранитогнейсов, слагают пластообразную залежь, вытянутую с северо-запада на юго-восток на 2,5 км, а их мощность составляет 2,0–9,1 м (средняя — 3,6 м). Залегают они под песчано-глинистыми отложениями мощностью 12,0–23,4 м. Определенные суммарные запасы первичного каолина-сырца месторождения «Ситница» составляют около 2,53 млн т. Макроскопически первичные каолины «Ситница» представляют собой глинистую породу серого цвета, жирную на ощупь, слабо хлоритизированную с крупными включениями полевошпатово-кварцевых обломков, чешуйками биотита, зернами кварца и полевого шпата. Восточная часть месторождения находится в пределах проектируемого карьера строительного камня, поэтому с целью попутной добычи каолина этот участок разведан достаточно детально [2].

Теплоизоляционными называют материалы, характеризующиеся малой способностью проводить теплоту вследствие высокой пористости. По характеру микроstructures (строение и форма пор) теплоизоляционные материалы могут быть: ячеистыми, зернистыми, волокнистыми, пластинчатыми или смешанными [3]. Ячеистое строение характерно для ячеистых бетонов, пеностекла, пенокерамики, газонаполненных пластмасс и некоторых других материалов. Зернистое строение имеют сыпучие материалы. Для материалов с волокнистым строением характерна очень высокая степень пористости и отсутствие замкнутых пор. Пластинчатое строение имеет вспученный вермикулит, что является его отличительной особенностью по сравнению с другими пористыми материалами. Теплоизоляционные материалы со смешанным строе-

нием макроstructures, как правило, отличаются лучшими физико-техническими свойствами по сравнению с материалами, имеющими однородную структуру (пеноперлитокерамика, армированная тугоплавким волокном и т.д.).

Теплоизоляционные материалы по температуре применения подразделяют на три группы: низкотемпературные (900 °С); среднетемпературные (900–1200 °С); высокотемпературные (>1200 °С). По плотности теплоизоляционные изделия подразделяются на: особолегкие (15–100 кг/м³); легкие (125–350 кг/м³); тяжелые (400–600 кг/м³). По теплопроводности: мало-проводные, среднепроводные, повышенной теплопроводности [4].

Для образования пористой структуры материалов используют следующие способы: газообразование; пенообразование; высокого водозатворения; создания волокнистого каркаса; введения выгорающих добавок; механической диспергации; вспучивания минерального и органического сырья. В качестве пенообразователей применяют канифольное мыло, эмульсипин и другие ПАВы, а для повышения вязкости пены — столярный и другие клеи. Для быстрого поглощения влаги из пены и закрепления этих структур в массы вводят добавки древесных опилок, либо гипса и квасцов. Способ пенообразования нашел широкое применение при изготовлении шамотных легковесных огнеупоров с кажущейся плотностью 400–1000 кг/м³ [5]. Способ пенообразования применяют для получения высокопористых теплоизоляционных материалов из чистых высокоогнеупорных оксидов: Al₂O₃, ZrO₂, BeO, MgO [6, 7]. Широкое применение нашел способ химического пенообразования при получении высокопористых огнеупоров, а также корундовых и цирконовых изделий на основе технического глинозема, стабилизированного ZrO₂ или ZrSiO₄ с использованием в качестве газообразователя смеси доломита с H₃PO₄ и стабилизатора гипса [8]. Наиболее простой способ введения выгорающих добавок основан на введении в шихту измельченных горючих твердых материалов или их смесей: кокса, нефтяного кокса, антрацита, каменного угля, древесных опилок, торфа и т.д., шамота (плотного или пористо-

го), связки (пластичные огнеупорные глины, иногда с каолином). Шамотно-каолиновые и высокоглиноземистые легковесные огнеупоры обычно изготавливают пластическим или полусухим способом [9].

Таким образом, исследование свойств и технологических особенностей выгорающих компонентов с установлением зависимости влияния их вида и количества на физико-химические свойства, структуру и фазовый состав синтезированных изделий во взаимосвязи с температурой обжига позволит разработать составы и изготавливать тугоплавкие керамические теплоизоляционные изделия с требуемыми эксплуатационными характеристиками на основе природного сырья Республики Беларусь и отходов промышленности.

Методология работы. Для синтеза керамических теплоизоляционных материалов в качестве сырьевых глинистых компонентов использовались глина тугоплавкая месторождения «Городное», природный каолин «Ситница»; в качестве выгорающих добавок — торф, лигнин, сапропель.

Керамическая масса готовилась пластическим способом из предварительно высушенных, измельченных и просеянных глинистых материалов (через сито № 05), выгорающих добавок — (№ 1) путем совместного смешения требуемого количества исходных сырьевых компонентов и увлажнения до относительной влажности в зависимости от рецептуры от 16 до 20,5 %. Масса вылеживалась несколько дней для усреднения влажности и тиксотропного упрочнения. Формование лабораторных образцов (плиток (65 × 25 × 12) мм, дисков Ø 12 мм, высотой 3—4 мм и палочек Ø 5—6 мм, длиной 60 мм) осуществлялось набивкой в подготовленные разъемные металлические формы. Образцы сушились при температуре 100 ± 5 °С в сушильной шкафу типа СНОЛ в течение 24 ч. Обжиг образцов проводился в лабораторной электрической печи типа SNOL 6,7/1300 в температурном интервале 1000—1150 °С со скоростью подъема 150—200 °С/ч и выдержкой при максимальной температуре 1 ч, охлаждение — инерционное.

Воздушная и огневая усадка (L , %), кажущаяся плотность ($\rho_{\text{каж}}$, кг/м³), водопоглощение (B , %) и открытая по-

ристость ($P_{\text{откр}}$, %) определялись в соответствии с ГОСТ 2409. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) образцов керамических материалов измерялся на dilatометре марки DIL 402 РС фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20—300 °С при скорости нагрева печи 5 °С/мин (ГОСТ 27180) с ошибкой опыта $\pm 2 \cdot 10^{-7} \cdot \text{K}^{-1}$. Механическая прочность образцов определялась на прессе марки ИП-100 согласно ГОСТ 473.6 с погрешностью 0,7—1,5 %. Коэффициент теплопроводности определялся по ГОСТ 7076 с помощью приборов марок ИТ λ — 400 в интервале температур 20—200 °С. Исследование термохимических процессов осуществлялось на приборе дифференциально-сканирующего анализа марки DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20—1350 °С. Рентгенофазовый анализ проводился на установке ДРОН-3 при использовании Си-К α катода и детектора — счетчика Гейгера, а также на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE фирмы «Bruker» (Германия), детектор — сцинтилляционный счетчик. Исследование микроструктуры проводилось с помощью оптического микроскопа со встроенной аналого-цифровой фотокамерой Leica DFC 280 (Германия).

Экспериментальная часть. В качестве исходных сырьевых материалов использованы природный каолин «Ситница» и тугоплавкая глина «Городное» (Столинский район). В роли выгорающих компонентов применялся торф месторождения «Туринское» следующего granulометрического состава, %: > 10 мм — 5,8; (7—10) мм — 6,1; (5—7) мм — 6,1; (3—5) мм — 10,5; (2—3) мм — 11,3; (1—2) мм — 32,0; (0,5—1) мм — 5,8; < 0,5 мм — 21,4; лигнин (отходы гидролизного производства древесного сырья) и сапропель озера Сергеевского (органические отложения карбонатно-органосиликатного состава).

Шихтовые составы синтезированных масс приведены в табл. 1.

Линейная воздушная усадка образца 1 составляет 6 %; 4 — 8 %; 7 — 7,5 %; 10 — 7,5 %. Воздушная усадка образцов с выгорающими добавками выше и обусловлена их гигроскопичностью и различной способностью впитывать воду. Огневая усадка образцов без вы-

Таблица 1. Шихтовые составы опытных масс

Наименование компонентов	Индекс составов, %											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Глина «Городное»	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Каолин «Ситница»	70	60	50	45	60	50	45	60	50	45	40	30
Торф	—	10	20	25	—	—	—	—	—	—	—	—
Лигнин	—	—	—	—	10	20	25	—	—	—	—	—
Сапропель	—	—	—	—	—	—	—	10	20	25	30	40

Таблица 2. Средние значения физико-химических свойств образцов при различных температурах обжига

Индекс образцов	Показатели свойств, температура обжига, °С											
	Водопоглощение, %				Открытая пористость, %				Кажущаяся плотность, кг/м ³			
	1000	1050	1100	1150	1000	1050	1100	1150	1000	1050	1100	1150
1	15,75	13,00	10,75	10,00	29,1	29,0	22,9	20,3	1850	1910	2020	2085
2	24,36	24,65	23,30	23,00	38,7	39,0	38,6	36,4	1565	1580	1600	1610
3	35,95	34,50	31,80	31,05	47,8	47,7	45,5	42,8	1320	1380	1405	1410
4	45,30	43,00	43,70	41,65	53,2	52,2	53,2	51,9	1180	1210	1220	1240
5	31,00	28,20	25,50	24,60	45,3	41,5	39,8	37,0	1460	1480	1560	1585
6	39,35	39,30	39,27	38,50	49,9	49,4	50,6	45,7	1260	1265	1287	1310
7	49,40	48,10	48,30	47,80	56,1	55,8	56,2	54,3	1120	1140	1150	1165
8	—	22,70	20,40	15,20	—	37,2	34,7	28,0	—	1630	1700	1820
9	—	33,36	30,90	25,80	—	47,0	45,1	39,9	—	1410	1460	1550
10	—	39,70	34,80	30,40	—	51,5	48,0	44,3	—	1290	1380	1450
11	—	—	40,43	—	—	—	50,7	—	—	—	1280	—
12	—	—	55,21	—	—	—	59,4	—	—	—	1064	—

горающих добавок составляет 1 %, с торфом или с сапропелем — 1,5 %, с лигнином — около 2 %. Огневая усадка обусловлена разным объемным содержанием выгорающих компонентов. Лигнин более легкий по массе, поэтому он занимает больший объем, и при обжиге его потери при прокаливании выше, чем у торфа и сапропеля. Усадка образцов без выгорающих добавок меньше остальных, так как усадка идет только за счет потери химически связанной влаги, воды пор, разложения органических примесей и процессов спекания.

Значения водопоглощения для различных составов и температур обжига приведены в табл. 2.

С увеличением процентного содержания всех выгорающих добавок водопоглощение возрастает, при этом образцы с лигнином имеют большее водопоглощение, чем с торфом и сапропелем.

Максимальная пористость наблюдается при введении лигнина, что объясняется почти полным его выгоранием (п.п.п. — 87 %), в то время как п.п.п. сапропеля — 55 %, п.п.п. торфа — 66,6 % и зольный остаток, взаимодействуя с керамической массой, частично заполняет поры.

С увеличением температуры обжига значения водопоглощения и пористости образцов исходного состава заметно падают, что свидетельствует об увеличении степени спекания, у образцов с добавками такого увеличения не наблюдается, так как большая пористость спекаемой системы уменьшает контактную поверхность частиц. Минимальная кажущаяся плотность наблюдается у образцов, содержащих лигнин (1120 кг/м³ при температуре обжига 1000 °С). С увеличением температуры обжига образцов с торфом и лигнином кажущаяся плотность увеличивается незначительно.

но, в отличие от образцов с сапропелем, в которых наблюдается активизация процесса спекания. Перенос вещества при спекании происходит за счет вязкого течения расплава и диффузионных процессов, однако образование большого количества жидкой фазы нежелательно, так как происходит заполнение пор и снижаются теплоизоляционные свойства синтезированных материалов.

Зависимость ТКЛР образцов, синтезированных при температуре обжига 1050 °С, от вида добавки и температуры измерения представлена на рис. 1.

Как видно из представленных данных, показатели ТКЛР образцов с введением добавок несколько возрастают, наиболее заметно при использовании сапропеля, который благодаря высокой зольности оказывает влияние на состав и количество структурных составляющих, главным образом, стекловидной фазы. Увеличение ТКЛР образцов с повышением температуры обжига обусловлено возрастанием количества стекловидной фазы, обогащенной оксидами CaO , Fe_2O_3 , Na_2O , имеющих высокие парциальные числа ТКЛР.

Рис. 1.
Зависимость ТКЛР образцов от температуры измерения и вида выгорающей добавки

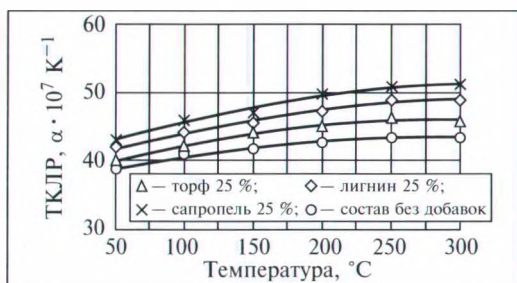


Рис. 2.
Зависимость коэффициента теплопроводности образцов от температуры измерения и вида выгорающих добавок

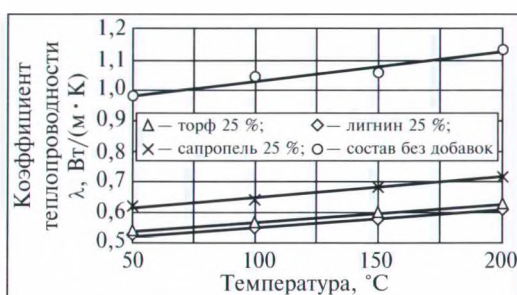
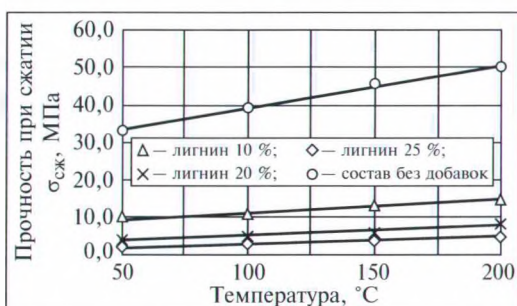


Рис. 3.
Зависимость механической прочности при сжатии от вида выгорающей добавки и температуры обжига



Температурная зависимость коэффициента теплопроводности образцов, синтезированных при температуре обжига 1050 °С, приведена на рис. 2.

С увеличением содержания выгорающих добавок теплопроводность образцов снижается, что объясняется значительным повышением их пористости. С увеличением температуры обжига образцов теплопроводность растет, что обусловлено более высокой степенью спекания и образованием большего количества стеклофазы. Минимальной теплопроводностью при одинаковом содержании выгорающей добавки обладают образцы с лигнином вследствие их более высокой пористости.

Зависимость механической прочности при сжатии синтезированных образцов от температуры обжига и вида выгорающей добавки приведена на рис. 3.

При введении выгорающих добавок прочность резко падает (особенно для составов с лигнином). С увеличением температуры обжига прочность образцов с лигнином возрастает незначительно, что обусловлено малой поверхностью контакта керамических частиц и сохранением высокой пористости образцов. Прочность образцов с торфом, а тем более с сапропелем, при увеличении температуры обжига возрастает более значительно. Это объясняется высокой зольностью последних. Зольный остаток заполняет поры и материал становится более плотным, чем материал, например, с лигнином. При увеличении температуры обжига выделяется большее количество стеклофазы, которая заполняет микротрещины и материал становится более прочным.

Кривые ДТА исследуемых керамических масс без добавок и с максимальным их содержанием представлены на рис. 4.

Для кривой ДТА исходной массы без добавок характерны два эндозффекта: первый при 50–200 °С, обусловлен удалением физически связанной влаги, потери массы — 2,4 %, второй при 480–720 °С, объясняется дегидратацией глинистых минералов, потери массы — 4 % и экзозффект при 240–400 °С, обусловленный выгоранием органических примесей с потерей массы — 0,6 %. Введение в массу выгорающих компонентов увеличивает первый эндозффект, что объясняется значитель-

ной гигроскопичностью выгорающих добавок. У массы с сапропелем эффект растянут в температурном интервале, вследствие более высокой дисперсности по сравнению с другими добавками. Потеря массы для состава с торфом — 3,6 %, с лигнином — 4 %, составов с сапропелем — 2 %.

Значительно возрастает экзотермический эффект при 320—340 °С, т.к. происходит интенсивное окисление и разложение органических компонентов добавок. Потеря массы составляет: для состава с торфом — 8,8, с лигнином — 14, с 20 % сапропеля — 6, с 25 % сапропеля — 6,5 %.

Значительных изменений во втором эндотермическом эффекте, обусловленном дегидратацией глинистых материалов, не наблюдается, однако максимум эффекта смещается от состава с торфом к составу с сапропелем в сторону более низких температур (от 580 до 560 °С). Это объясняется тем, что при горении сапропеля выделяется большое количество дополнительного тепла, которое интенсифицирует процесс дегидратации глины. Для составов с выгорающими добавками характерен эндоэффект при 850 °С, обусловленный разложением CaCO_3 , который содержится в выгорающих компонентах. Наиболее ярко этот эффект выражен для составов с сапропелем, так как последний содержит много карбонатов (содержание CaO в зольном остатке составляет 77,6 %).

Методом рентгенофазового анализа была установлена зависимость фазового состава синтезированных образцов от температуры обжига и вида выгорающих добавок (их зольного остатка). Для образцов из массы, не содержащей выгорающих добавок, характерно присутствие муллита, кварца и ильменита (FeTiO_3). В образцах с использованием торфа и лигнина наблюдаются фа-

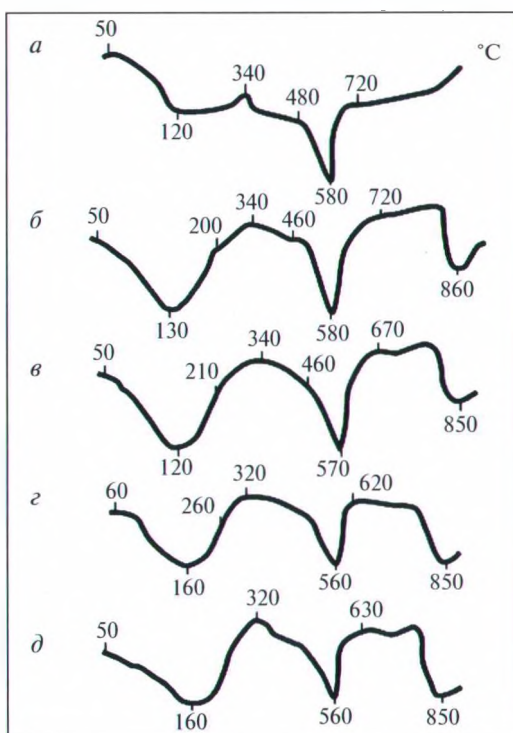


Рис. 4. Кривые ДТА исследуемых масс. Составы: а — без добавки; б — 25 % торфа; в — 25 % лигнина; г — 20 % сапропеля; д — 25 % сапропеля

зы шпинели $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и анортита $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. В образцах с сапропелем присутствуют следующие фазы: шпинель, анортит, мервелит $\text{MgO} \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, псевдоволластонит $\alpha\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$, однокальциевый алюминат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и α -кварц. Наличие фаз, содержащих оксиды кальция и магния, обусловлено высоким содержанием карбонатов в составе выгорающих добавок (особенно в сапропеле). При температуре 1100 °С и выше начинает кристаллизоваться фаза муллита $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, а при 1150 °С образуется большое количество жидкой фазы, которая заполняет поры и снижает теплоизоляционные свойства материала. В качестве оптимальной принимают температуру 1100 °С, при которой обеспечиваются необходимая пористая структура и кристаллизация муллита, который

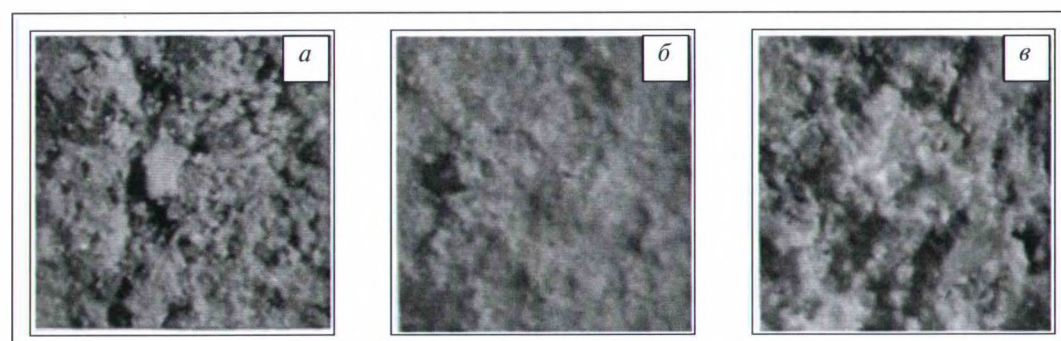


Рис. 5. Оптические снимки синтезированных образцов с выгорающими добавками: а — 25 % торфа; б — 25 % лигнина; в — 25 % сапропеля ($\times 100$)

обуславливает прочность и термостойкость готовых изделий.

Оптическая микроскопия позволяет охарактеризовать микроструктуру материала, соотношение кристаллической и стекловидной фаз и характер их распределения. На рис. 5 представлены оптические снимки синтезированных образцов с 25 % торфа и лигнина, синтезированные при 1100 °С.

Образцы с добавкой торфа имеют ярко-рыжий цвет с мелкими включениями железа и кварца в виде белых матовых кристаллов. Образцы мелкопористые, имеются нити расплава. Для образцов с добавкой лигнина и сапропеля наблюдается высокопористая структура, отдельные зерна кристаллов хорошо просматриваются.

Заключение. Таким образом, на основе природного сырья Республики Беларусь и выгорающих добавок разработаны составы тугоплавких керамических теплоизоляционных материалов с пониженной температурой их обжига. Наилучшими физико-химическими свойствами обладает материал оптимального состава, содержащий 40 % сапропеля и синтезированный при 1100 °С: водопоглощение — 55,2 %, открытая пористость — 59,4 %, кажущаяся плотность — 1064 кг/м³, теплопроводность — 0,52 Вт/(м·К), механическая прочность при сжатии — 3,5 МПа, ТКЛР — $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, максимальная температура применения — 1400 °С. Фазовый состав материала представлен кварцем $\alpha\text{-SiO}_2$, шпинелью $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, анортитом $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, мервелитом $\text{MgO} \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$, псевдоволластонитом $\alpha\text{-CaO} \cdot \text{SiO}_2$, однокальциевым алюминатом $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и муллитом $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Следует отметить, что по своим физико-механическим показателям синтезированные тугоплавкие керамические материалы не уступают импортным аналогам, что позволяет рекомендовать их в качестве теплоизоляционных материалов тепловых агрегатов и устройств общего назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Майзель И.А.** Технология теплоизоляционных материалов / И.А. Майзель, В.Г. Сандлер. — М.: Высшая школа, 1988. — 238 с.
2. Каолины / В.А. Вечер [и др.] // Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию Белорус. науч.-исслед. геологоразведоч. ин-та / Л.Ф. Ажгиревич [и др.]; редкол.: А.М. Синичка (отв. ред.) [и др.]. — Минск, 2002. — С. 323—327.
3. **Стрелов К.К.** Технология огнеупоров. — М.: Металлургия, 1987. — 376 с.
4. **Стрелов К.К.** Структура и свойства огнеупоров. — М.: Металлургия, 1982. — 208 с.
5. **Забрускова Н.Т.** Теплоизоляционная керамика / Н.Т. Забрускова, Ю.Н. Кочан // Стекло и керамика. — 1982. — № 8. — С. 26—27.
6. **Конов И.А.** Получение корундовых и цирконовых изделий методом химического вспучивания / И.А. Конов, Ю.И. Кочан // Стекло и керамика. — 1983. — № 5. — С. 22—23.
7. **Будников П.П.** Технология керамики и огнеупоров. — М.: Госстройиздат, 1962. — 707 с.
8. **Дмитриев И.А.** Теплоизоляционные огнеупоры / И.А. Дмитриев, Ю.В. Полетаев // Стекло и керамика. — 1979. — № 12. — С. 12—14.
9. **Гузман И.Я.** Высокоогнеупорная пористая керамика. — М.: Металлургия, 1971. — 208 с.