

Д. т. н. **У. Ш. Шаяхметов** (✉), к. х. н. **А. У. Шаяхметов**, к. ф.-м. н. **А. В. Захаров**,
к. ф.-м. н. **А. Р. Хамидуллин**, **А. Т. Газизова**

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», г. Уфа, Россия

УДК 666.3.621.74

ОГНЕУПОРНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПИРОФИЛЛИТОВОГО СЫРЬЯ

Изложены результаты физико-химического исследования пиррофиллита месторождения Куль-Юрт-Тау Республики Башкортостан. Установлены особенности упрочнения, структуры и кинетики твердения огнеупорных композитов на базе кварц-пиррофиллитового сырья.

Ключевые слова: кварц-пиррофиллитовое сырье (ПФС), ИК-спектры, кинетика твердения, упрочнение композиций, деформация, ползучесть.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных источников сырья в технологии огнеупорных композиционных материалов является пиррофиллит [1–4]. Представляет интерес использование пиррофиллитовых пород для производства алюмосиликатных материалов, что позволяет заменить используемый в настоящее время алюмосиликатный компонент в керамических технологиях полностью или частично на пиррофиллитовое сырье [5–11]. Известны исследования в этой области [12–17]. В настоящей статье изложены результаты исследований пиррофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау и огнеупорных композиций на его основе. Изучены процессы упрочнения, структура и кинетика твердения, а также физико-технические характеристики композиций на основе кварц-пиррофиллитового сырья (ПФС) месторождения Куль-Юрт-Тау.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для изучения формирования структуры в материалах на основе ПФС были выбраны композиции из трех составов с зернистым наполнителем различных фракций из обожженного при 1250 °С и выше ПФС, тонкомолотого обожженного (состав 1) и необожженного (состав 2)

сырья, а также огнеупорной глины (состав 3) в количестве до 25–30 %. В качестве связующего использовали техническую ортофосфорную кислоту плотностью 1,45 г/см³.

Первоначально были изучены процессы формирования структуры при нагреве ПФС, которое было использовано в композициях в качестве наполнителя и тонкомолотого компонента. В качестве тонкомолотого компонента были использованы необожженное ПФС и огнеупорная глина Богдановичского ОАО «Огнеупоры», химический состав которых приведен в табл. 1.

Методами термографического, рентгенофазового, рентгенофлуоресцентного и ИК-спектрального анализов исследовали изменения фазового состава и структуры ПФС месторождения Куль-Юрт-Тау и композиции на его основе при нагревании. Исследования выполнены на дериватографе Q-1500D системы Паулик – Паулик – Эрдеи в атмосфере воздуха и на дифрактометре ДРОН-4-07 с Си K_α-излучением ($\lambda = 0,154060$ нм) на дифрагированном пучке при напряжении 45 кВ и токе 40 мА. Съемку дифрактограмм осуществляли с шагом 0,02 и выдержкой 5 с для каждого шага. Анализ дифрактограмм проводили с использованием программы MAUD (полнопрофиль-

Таблица 1. Химический состав ПФС и огнеупорной глины, мас. %

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	R ₂ O	Примеси
ПФС	81,8–82,8	12,8–14,4	0,2–0,5	0,2–0,7	0,2–0,4	–	–	–	–	0,4–1,0	2,3–2,7
Огнеупорная глина	44,59	35,85	2,28	0,27	0,38	0,25	0,60	1,97	3,62	–	13,86



У. Ш. Шаяхметов
E-mail: rusairu@ufanet.ru

ное уточнение, или метод Ритвельда) при напряжении 45 кВ и токе 40 мА в области 200–4000 см^{–1}. Для съемок использовали измельченный до 1 мкм порошок образца на спектрометре VRA-30, Германия. Микроскопические исследования проводили по обычно принятым методикам; изучали

структуру поверхности излома и скола. Упрочнение и кинетика твердения исследованы на композиционных образцах диаметром и высотой 10 мм, деформация под нагрузкой и ползучесть — на образцах диаметром 36 и высотой 50 мм.

Исследование кварц-пиррофиллитового сырья. Как известно, для использования в промышленности пиррофиллит подвергают термообработке. При нагревании в интервале 700–900 °С вода полностью удаляется. Продуктом полной дегидратации является метапиррофиллит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$. При 1150 °С метапиррофиллит разлагается, образуя муллит и кристобалит. Последовательность превращений: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \uparrow \rightarrow 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 4\text{SiO}_2$. Конечным продуктом высокотемпературных превращений являются огнеупорные соединения (муллит и кристобалит) [18].

Термографические исследования показали, что при нагреве ПФС на кривой ДТА наблюдается эндотермический эффект с минимумом при 540 °С (рис. 1), обусловленный удалением воды из кристаллической решетки диаспора, серицита и каолинита. Экзотермический эффект с максимумом при 982 °С возникает из-за кристаллизации муллита из каолинита, а также обусловлен фазовым переходом $\gamma \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, образовавшегося при разложении диаспора. Кроме того, имеются термические эффекты с максимумами при 1190 и 1350 °С вследствие кристаллизации муллита (1180 °С) и кремнезема (1350 °С) из продуктов разложения пиррофиллита.

Таким образом, установлено, что в низкотемпературной (250–350 °С) и высокотемпературной (~700 °С) областях происходит удаление воды из кристаллической решетки диаспора, серицита и каолинита, содержащихся в ПФС, и пиррофиллита. Рентгенофазовым анализом определены кристаллизация в температурной области около 1000 °С и выше муллита из каолинита и образование $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ при разложении диаспора. Около 1200 и 1350 °С происходит кристаллизация муллита и кремнезема из продуктов разложения пиррофиллита. Рентгенограммы показы-

вают также образование кремнезема в форме кристобалита (4,10, 2,55 и 1,69 Å) или тридимита (4,27, 3,11 Å). При 1325 °С линии тридимита исчезают, количество образовавшейся около 1190 °С стеклофазы увеличивается. После 1350 °С (до 1425 °С) стеклофаза исчезает, на рентгенограмме присутствуют только слабые линии муллита и кристобалита.

Установлено, что потери массы в ПФС около 8 %. Если учитывать, что содержание воды в чистом пиррофиллите, соответствующем его химической формуле $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, составляет 5 %, то около 3 % потерь обусловлено, скорее всего, разложением примесных минералов, содержащихся в исходном сырье. Эта избыточная вода может находиться в ПФС в химически связанном состоянии и содержится, вероятно, в минералах-примесях. Удаление такой воды из пиррофиллита обуславливает потерю его массы в интервале 500–900 °С.

При высоких температурах ИК-спектры претерпевают более сильные изменения, что свидетельствует о глубоких структурных изменениях в пробах (рис. 2). Спектр пробы, прокаленной при 1200 °С, содержит широкие неразрешенные полосы поглощения, которые типичны для аморфных веществ и неразвитых кристаллических структур. Очевидно, этим и объясняется отсутствие на рентгенограмме линий муллита в пробах, прокаленных при 1450 °С [19–21].

Таким образом, в результате термического разложения ПФС образуются муллит и кристобалит, обладающие низким термическим расширением и высокой огнеупорностью. Отмеченные свойства пиррофиллит-диаспоровых пород позволяют использовать их в качестве тонкомолотой добавки в жаростойких материалах. Они без термообработки обладают малой твердостью, а при нагреве до 1000 °С разрыхляются, теряют прочность. Поэтому их применение в качестве средней и крупной фракций в жаростойких материалах без термообработки нецелесообразно. Термообработка при 1200 °С и выше позволяет изменить структуру сырья с образованием муллита, кристобалита и стекла.

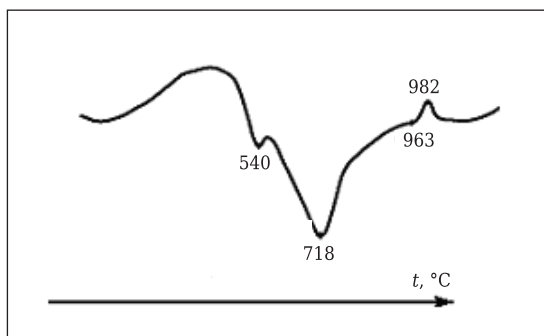


Рис. 1. Термограмма ПФС. Скорость нагрева 15 град/мин

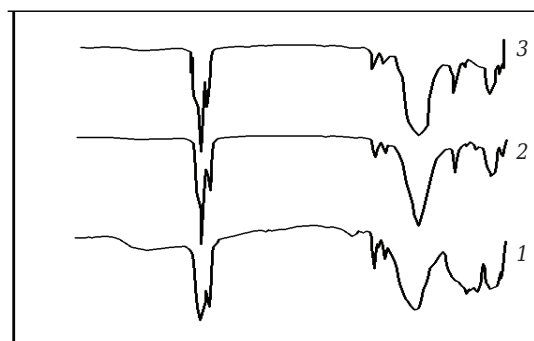


Рис. 2. ИК-спектры поглощения пиррофиллита после термообработки при 1 — 350, 2 — 900 и 3 — 1200 °С

Это, в свою очередь, дает возможность получения крупнозернистого керамического сырья и тонкомолотого компонента путем механической обработки термообработанного ПФС, которые использованы в выбранных составах [22].

Исследование композиций составов. Установлено, что упрочнение составов 1 и 2 (рис. 3) происходит при температурах 210 °C и выше, тогда как состав 3 набирает прочность при более низких температурах. В течение 3 ч у состава 3 при 120 °C прочность в 3 раза выше, чем у первых образцов. При повышении температуры до 1400 °C происходит упрочнение всех композиций (см. рис. 3). Это связано с физико-химическими процессами взаимодействия необожженного, обожженного ПФС и огнеупорной глины с орто-

фосфорной кислотой. В составе 1 происходит образование алюмофосфатных цементов за счет затворения глинозема ПФС ортофосфорной кислотой. Такая система отверждается при 230–350 °C в течение не менее 3 ч с образованием конечного продукта — ортофосфата алюминия. В составах 2 и 3, вероятно, происходит взаимодействие присутствующих в сырье активных компонентов с ортофосфорной кислотой и образованием в основном в виде конечного продукта — пиррофосфата кремния SiP_2O_7 . Как известно [23–26], это результат взаимодействия SiO_2 с фосфатной связкой, происходящего при температурах 200–300 °C и выше.

Изменение $\sigma_{\text{сж}}$ при дальнейшем нагреве всех составов связано с физико-химическими процессами, происходящими в фосфатных композициях. Кинетика упрочнения композиций, изученная в температурном интервале до 250 °C, показывает, что при 60 °C в течение 12 ч упрочнения составов 1 и 2 не происходит (рис. 4, а, б, кривая 1) из-за отсутствия взаимодействия обожженного ПФС с фосфатной связкой [26]. В то же время композиция состава 3 при 60 °C через 4 ч приобретает технологическую прочность с $\sigma_{\text{сж}}$ около 6 МПа (рис. 4, в, кривая 1). Завершение процесса твердения композиции составов 1 и 2 при 160 и 250 °C происходит через 6–8 и 8–10 ч соответственно (см. рис. 4, а, б, кривые 2, 3). У состава 3 значения $\sigma_{\text{сж}}$ стабилизируются через 5–6 ч независимо от температуры обработки (см. рис. 4, в, кривые 1–3).

Макроструктура всех трех составов представлена керамическими композициями, состо-

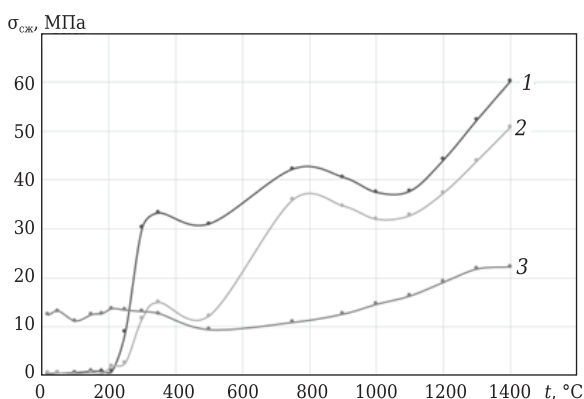


Рис. 3. Кривые упрочнения композиций составов 1, 2 и 3; $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности при сжатии

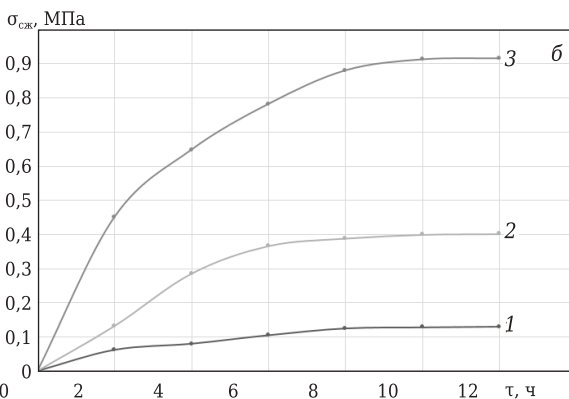
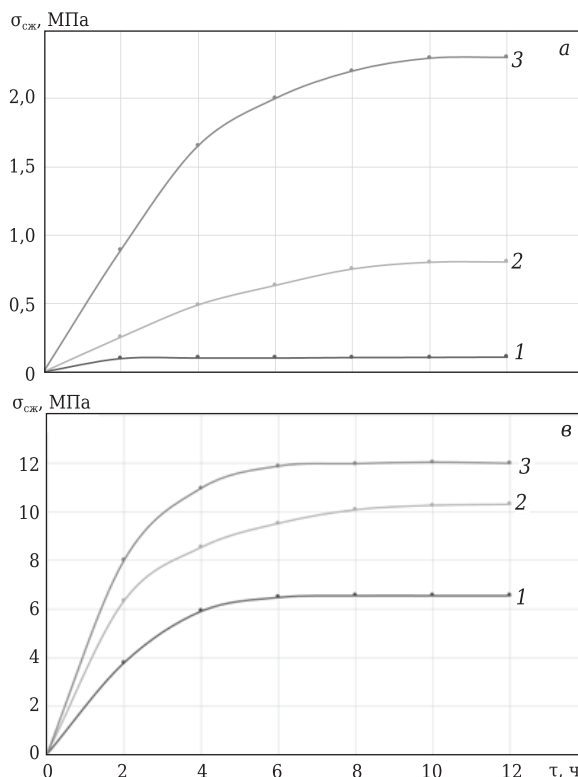


Рис. 4. Кинетика твердения композиций составов 1 (а), 2 (б) и 3 (в) при 60 (1), 160 (2) и 250 °C (3)

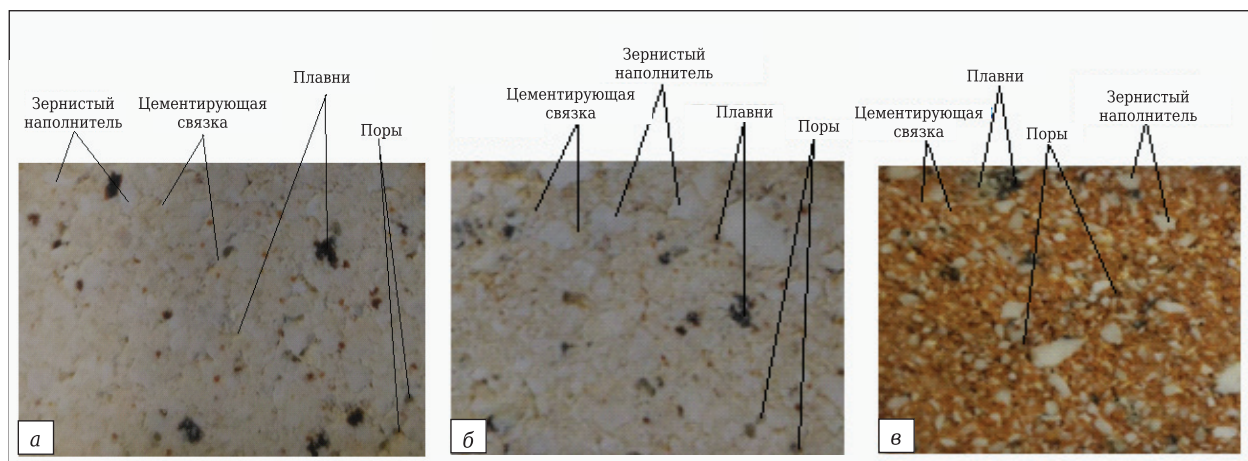


Рис. 5. Структура композиций составов 1 (а), 2 (б) и 3 (в) после 750 °С. В составе 1 после нагревания до 750 °С присутствуют фосфаты алюминия

ящими из обожженного пирофиллита разных фракций (зернистый наполнитель) и из агрегатов цементирующей связки на основе алюмо- и силикофосфатов, а также других фосфатов в составах 2, 3 и тонкомолотых наполнителей (рис. 5). Во всех композициях проявляются плавни, которые образовались в результате взаимодействия инородных включений, присутствующих в исходном сырье. Они существенно не влияют на термические свойства. Составы 2 и 3 содержат компоненты исходного обожженного сырья и небольшое количество фосфатов алюминия (рис. 6, б, в). Присутствующие в составах силикофосфаты и другие фосфаты не обнаружены. Таким образом, цементирующим компонентом во всех трех композициях служат фосфаты, которые образовались в результате взаимодействия с тонкомолотой составляющей композиций. В составе 1 цементирующая часть образовалась в результате взаимодействия Al_2O_3 ПФС с ортофосфорной кислотой, в составах 2 и 3 — алюмо-, силико- и другие фосфаты.

Проведен ИК-спектральный анализ композиции состава пирофиллит + H_3PO_4 , в которой содержится множество плохо разрешенных полос поглощения, причем полосы пирофосфатов и силикатов появляются уже после 400 °С (1200, 760, 650 cm^{-1} , рис. 7). Отсутствие полос поглощения при частотах более 1200 cm^{-1} дает основание считать, что в составах новообразования фосфатов и силикатов имеют основную структуру, а не полимерную. Следует отметить также, что в присутствии силикатов затрудняется анализ фосфатов по ИК-спектрам, поскольку силикаты и фосфаты поглощают в частотных областях, накладывающихся друг на друга. Они характерны и для композиций на основе ПФС. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа подтверждают присутствие фосфатов во всех композициях. Это показано на примере результатов исследования состава 1 и ПФС, в котором после 750 °С

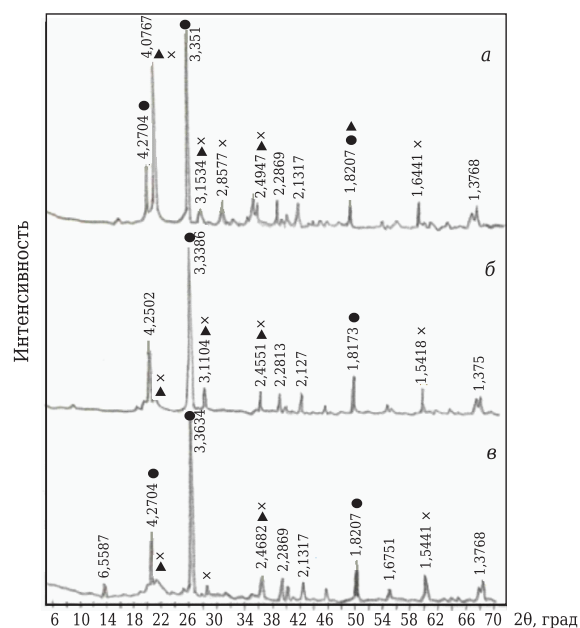


Рис. 6. Рентгенограммы композиции составов 1 (а), 2 (б) и 3 (в) после термообработки при 750 °С: ● — α -кварц; ▲ — кристобалит; ■ — муллит; × — фосфаты алюминия

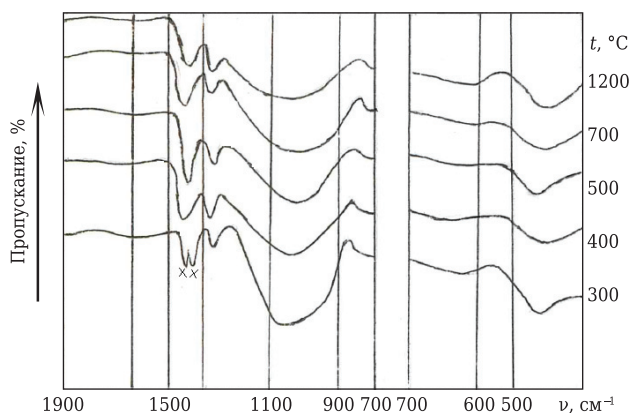


Рис. 7. ИК-спектры поглощения композиции пирофиллит / H_3PO_4 после термообработки при 200, 400, 500, 700 и 1200 °С; × — поглощение вазелинового масла

Таблица 2. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа, %

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S _{общ}	Примеси
Состав 1	73,45	0,247	16,74	1,04	0,024	1,44	0,28	0,26	0,13	2,19	0,047	4,23
ПФС	71,78	0,335	20,78	0,59	0,011	0,82	0,12	0,31	0,61	0,04	0,108	5,20

содержится более 2 % P₂O₅, тогда как в исходном ПФС фосфаты не обнаружены (табл. 2).

По известной методике [27] исследовали процессы деформации под стандартной нагрузкой 0,2 МПа и ползучести композиций (рис. 8). Установлено, что температура начала деформации составов 1–3 составляет 1380, 1250 и 1150 °С соответственно. Исходя из данных деформации, выбраны температуры для изучения ползучести [28, 29]. Скорость деформации в установившейся части кривых при 1350 °С (состав 1), 1200 °С (состав 2) и 1150 °С (состав 3) составляет 0,004 %/ч, т. е. в течение 12 ч деформация не превышает 0,5 %.

Определены высокотемпературная прочность, пористость и плотность композиционных материалов рассмотренных составов на основе ПФС. Значение $\sigma_{сж}$ при 1000 °С у всех составов не ниже 7,5 МПа, пористость и плотность прессованных образцов под нагрузкой не более 30 МПа — не более 27,30 % и 1,76–1,81 г/см³ соответственно. На основе состава 2 изготовлена опытная партия электроизоляционных втулок марок 2ШХ.831.099 и 2ШХ.831.103 электротехнического назначения с температурой применения до 1100 °С. Втулки внедрены в производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложены результаты исследований ПФС месторождения Куль-Юрт-Тау и огнеупорных композиций на его основе при нагреве. Изучение процессов структурообразования, кинетики твердения и физико-технических характери-

Библиографический список

1. **Зайков, В. В.** Пироксилитовые сланцы — классификация и происхождение (онтогенез минералов) / В. В. Зайков, Г. Г. Корблёв, В. Н. Удачин. — М.: Наука, 1966.
2. Огнеупоры и их применение; под общ. ред. Я. Инамуры; пер. с яп. А. А. Тихонова; под ред. А. Г. Юдина. — М.: Металлургия, 1984. — 448 с.
3. **Михащук, Е. П.** Кинетика структурообразования и фазовые превращения в фосфатных композициях на основе пироксилита / Е. П. Михащук, Д. М. Карпинос, У. Ш. Шаяхметов, Р. А. Амиров // Физико-химические аспекты прочности жаростойких неорганических материалов: тез. докл. Всесоюз. конф. Ч. 2. — Запорожье, 1986. — С. 272.
4. **Карпинос, Д. М.** Влияние фосфатных связующих на прочность материала на основе электрокорунда и пироксилита / Д. М. Карпинос, Е. П. Михащук, Р. А. Амиров [и др.] // Огнеупоры. — 1987. — № 3. — С. 5–8.
5. **Шаяхметов, У. Ш.** Пироксилит и материалы на его основе / У. Ш. Шаяхметов, А. Г. Мустафин, Р. А. Амиров. — М.: Наука, 2007. — 164 с.

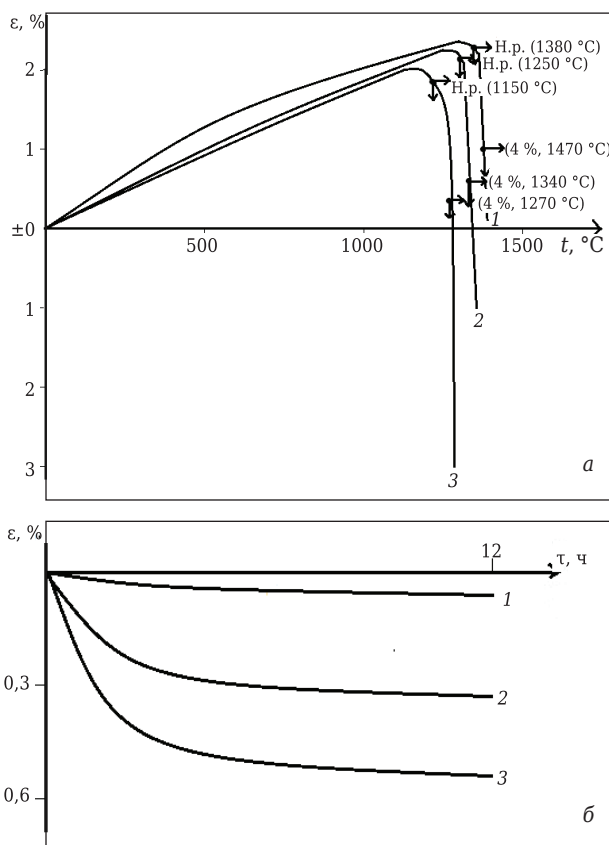


Рис. 8. Деформация (а) и ползучесть (б) огнеупорных композиций

стик позволило сконструировать инновационные составы огнеупорных композиций для изделий электротехнического назначения.

6. **Абдрахимов, В. З.** Влияние алюмосодержащего нанотехногенного сырья и пироксилита на физико-механические показатели и пористость кислотоупоров / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова // Огнеупоры и техническая керамика. — 2017. — № 4/5. — С. 34–39.
7. **Пат. 2388721 Российская Федерация, МПК С 04 В 33/132.** Керамическая масса для изготовления керамического кирпича / Абдрахимов В. З.; опубл. 10.05.10, Бюл. № 13.
8. **Мурзакова, А. Р.** Пироксилитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау — перспективы использования / А. Р. Мурзакова, Л. В. Якупова, У. Ш. Шаяхметов, А. Г. Мустафин // Вестник Башкирского университета. — 2011. — Т. 16, № 1. — С. 33–35.
9. **Шаяхметов, У. Ш.** Пироксилит как сырье для производства огнеупоров и технической керамики / У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова // Новые огнеупоры. — 2012. — № 3. — С. 20–22.

10. **Шаяхметов, У. Ш.** Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау и его применение : тез. докл. Междунар. конф. огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва) / У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова, Е. А. Гончаренко, А. Г. Мустафин // Новые огнеупоры. — 2013. — № 3. — С. 53, 54.
11. **Шаяхметов, У. Ш.** Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как сырье для керамической промышленности / У. Ш. Шаяхметов, Г. Х. Янышева, Л. У. Киеккужина, В. С. Третьякова // II научно-практическая молодежная конференции с международным участием : тез. докл. 18–21 октября 2016 г. «Современные технологии композиционных материалов». — Уфа : РИЦ БашГУ, 2016. — С. 189, 190.
12. **Шаяхметов, У. Ш.** Исследования кварц-пирофиллитовых пород месторождения Куль-Юрт-Тау в качестве сырья для производства различных керамических материалов : сб. науч. тр. ГУП «БашНИПИстром», посвященный 75-летию института. Вып. 1 / У. Ш. Шаяхметов, А. Г. Мустафин. — Уфа : Старая Уфа, 2003. — С. 38, 39.
13. **Бакунов, В. С.** Изменения структуры при нагревании и высокотемпературная деформация композитов на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау / В. С. Бакунов, А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, Л. В. Якупова // Стекло и керамика. — 2013. — № 1. — С. 24–28.
14. **Бакунов, В. С.** Технология композитов на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау / В. С. Бакунов, А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, Л. В. Якупова // Стекло и керамика. — 2013. — № 2. — С. 51–55.
15. Пат. 2387613 Российская Федерация, МПК С 04 В 33/132. Керамическая масса для получения кислотоупоров / Абдрахимова Е. С., Абдрахимова В. З. ; опубл. 27.04.12, Бюл. № 12.
16. **Абдрахимова, Е. С.** К вопросу использования алюмосодержащего нанотехногенного сырья в производстве керамических композиционных материалов / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимова // Материаловедение. — 2014. — № 12. — С. 44–52.
17. **Киеккужина, Л. У.** Термический процесс обработки пирофиллитного сырья месторождения Куль-Юрт-Тау / Л. У. Киеккужина, А. К. Шаяхметов, Г. Х. Янышева // Современные технологии композиционных материалов. Материалы 2-й научно-практической молодежной конференции с международным участием, 2016. — С. 162, 163.
18. **Мурзакова, А. Р.** Исследование высокотемпературной ползучести композиционных материалов на основе пирофиллитового сырья / А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, В. С. Бакунов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2011. — № 7/8.
19. **Шаяхметов, У. Ш.** Технология композиционных материалов на основе пирофиллитового сырья : тез. докл. Междунар. конф. огнеупорщиков и металлургов (31 марта – 1 апреля 2011 г., Москва) / У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова, В. С. Бакунов // Новые огнеупоры. — 2011. — № 3. — С. 57.
20. **Мурзакова, А. Р.** Композиционные материалы из пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау / А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. — 2011. — № 3. — С. 36–40.
21. **Мурзакова, А. Р.** Исследование высокотемпературной ползучести композиционных материалов на основе пирофиллитового сырья / А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, В. С. Бакунов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2011. — № 7/8. — С. 25–30.
22. **Киеккужина, Л. У.** Изменение структуры пирофиллитового сырья при нагреве / Л. У. Киеккужина, А. У. Шаяхметов, Г. Х. Янышева // Современные технологии композиционных материалов. Материалы 2-й научно-практической молодежной конференции с международным участием, 2016. — С. 160–162.
23. **Судакас, Л. Г.** Фосфатные вяжущие системы / Л. Г. Судакас. — СПб. : Квинет, 2008. — 260 с.
24. **Singh, D.** Phosphate ceramic process for macroencapsulation and stabilization of low-level debris wastes / D. Singh, A. S. Wagh, M. Tlustochowicz, S. Y. Jeong // Waste Management. — 1998. — № 18. — P. 135–143.
25. **Carolyn Moorlag.** Chemically bonded composite sol-gel ceramics: a study of alumina-phosphate reaction products, B. Sc. (Honors) Department of Chemistry University of Victoria, Canada, 1997.
26. **Wagh, Arun S.** Chemically bonded phosphate ceramics / Arun S. Wagh. — Argonne National Laboratory 9700 S. Cass Avenue Argonne, IL 60439, USA, 2004.
27. **Бакунов, В. С.** Оксидная керамика: спекание и ползучесть / В. С. Бакунов, А. В. Беляков, Е. С. Лукин, У. Ш. Шаяхметов. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2007. — 584 с.
28. **Бакунов, В. С.** Изменения структуры при нагревании и высокотемпературная деформация композитов на основе пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау / В. С. Бакунов, А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, Л. В. Якупова // Стекло и керамика. — 2013. — № 1. — С. 32–35.
29. **Бакунов, В. С.** Пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау как основа керамических композитов / В. С. Бакунов, А. Р. Мурзакова, У. Ш. Шаяхметов, Л. В. Якупова // Стекло и керамика. — 2011. — № 12. — С. 23–27. ■

Получено 05.02.18

© У. Ш. Шаяхметов, А. У. Шаяхметов, А. В. Захаров,
А. Р. Хамидуллин, А. Т. Газизова, 2018 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ЕАМС — European Advanced Materials Congress
Европейский конгресс
по высокотехнологичным материалам

20–23 августа 2018 г.
г. Стокгольм, Швеция

www.iaamonline.org