

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)», г. Самара, Россия

УДК 666.774.004.12:669.2.002.68

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КИСЛОТУПОРОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Приведены результаты исследования зависимости между физико-механическими свойствами кислотоупоров на основе глинистой части хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд и содержанием в кислотоупорах хвостов обогащения полиметаллических руд, глиноземсодержащего шлама от отработки алюминия и его сплавов. Модель зависимости строится на основании результатов фактического эксперимента и аналитически описывает взаимосвязь результатов опытов. Приведенный регрессионный анализ позволяет получить математические модели, делающие возможным предсказание свойств керамических масс в точках, не вошедших в серию эксперимента. На разработанные составы получен патент 2385304. Фазовый состав показал наличие в кислотоупорах муллита и корунда, которые улучшают показатели изделий.

Ключевые слова: кислотоупоры, глинистая часть хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ), хвосты обогащения полиметаллических руд, глиноземистый шлам от отработки алюминия и его сплавов, регрессионный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Представленная статья является продолжением работ [1–4] по использованию алюмосодержащих нанотехногенных отходов в составах керамических масс для получения кислотоупоров.

Поскольку в настоящее время природные сырьевые ресурсы истощены, необходимо вовлекать отходы в производственный оборот для изготовления керамических материалов. При этом исключаются затраты на геологоразведочные работы, строительство и эксплуатацию карьеров, освобождаются значительные земельные участки от воздействия негативных антропогенных факторов. К примеру, комплексный подход к глубокой переработке вторичного сырья в США, Японии, Германии, странах Западной Европы позволил создать экологически чистые технологии, произвести структурную перестройку ряда отраслей промышленности. Однако для России это пока дело будущего. Доля использования отходов в качестве вторичного сырья в России очень низкая и не превышает 11 %.

На конференции ООН «Рио+20» в 2012 г. было признано, что обеспечение длительно-

го благополучного развития возможно лишь на основе принципов «зеленой» экономики. Принципы «зеленой» экономики предполагают производство различного рода очистного оборудования, утилизацию вторичных ресурсов и отходов, оказание экологических услуг и пр. [5]. Очевидно, что вряд ли возможно мирное сосуществование «зеленой» экономики и природноресурсной («коричневой») экономики. Например, обеспечение экономического роста сегодня связано с ростом загрязнения и деградации среды, истощением природных ресурсов, нарушением баланса биосферы, изменением климата, что ведет к ухудшению здоровья человека и ограничивает возможности дальнейшего развития. Это означает, что решение крайне важной задачи повышения благосостояния населения не обеспечивает необходимого качества жизни. «Зеленая» экономика определяется структурой ООН как экономика, которая повышает благосостояние людей, обеспечивает социальную справедливость и при этом существенно снижает риски для окружающей среды и ее деградации. Важными чертами такой экономики является эффективное использование природных ресурсов, сохранение и увеличение природного капитала, уменьшение загрязнения, низкие углеродные выбросы, а также предотвращение утраты экосистемных услуг и биоразнообразия.

В производстве керамических материалов рациональное использование топлива, сырья и других материальных ресурсов становится решающим фактором ее успешного развития



Е. С. Абдрахимова
E-mail: 3375892@mail.ru

в условиях проводимой экономической реформы. Кроме того, использование отходов производств в керамических материалах способствует решению задач «зеленой» экономики. В связи с этим применение в керамических материалах отходов производств приобретает особую актуальность [2, 3].

Цель настоящей работы:

- получение кислотоупоров на основе отходов цветной металлургии без применения традиционных природных материалов;
- исследование регрессионным методом влияния содержания хвостов обогащения полиметаллических руд, глиноземсодержащего шлама от отработки алюминия и его сплавов на физико-механические и химические показатели кислотоупоров на основе глинистой части хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ);
- исследование фазового состава кислотоупоров, полученных на основе отходов цветной металлургии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В настоящей работе в качестве глинистой составляющей для получения кислотоупоров использовали ГЦИ [1–3, 6, 7], которая образуется после дезинтеграции и грохочения руды в виде пульпы влажностью 37–45 %. Цвет ГЦИ от светло-желтого до розового, плотность 2,36–2,42 г/см³; ГЦИ, по существу, представляет собой тугоплавкую глину, но имеет сложный минеральный состав, включающий, в отличие от традиционных тугоплавких глин, более 10 минералов и повышенное содержание оксида железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 5\%$); число пластичности 22–25 [6, 7]. Химический состав исследуемых компонентов приведен в табл. 1.

Хвосты обогащения полиметаллических руд использовали в качестве отощителя и частично в качестве плавня ($5 \leq R_2\text{O} \leq 10\%$) для снижения температуры обжига. Хвосты обогащения полиметаллических руд — это пустая порода Новоленингорского месторождения полиметаллических руд, искусственно полу-

ченный методом флотации песок, частицы которого имеют остроугольную форму. Насыпная плотность 1100–1200 кг/м³, истинная плотность 2,64–2,75 г/см³, остаток на сите № 008 40–42 %, органические примеси отсутствуют, огнеупорность 1250–1300 °С. Минеральный состав представлен следующими минералами, мас. %: кварц 50, полевой шпат 42, оксиды железа 3, каолинит 5. Химический состав приведен в табл. 1.

Глиноземсодержащий шлам от отработки алюминия и его сплавов образуется в результате процесса травления сплавов концентрированным раствором, состоящим из едкого натра с небольшим количеством специальных веществ. После регенерации щелочей из отработанных травильных растворов осаждается осадок — глиноземсодержащий шлам, концентрирующийся на дне ванны и постепенно кристаллизующийся. Шлам после осаждения направляется на обезвоживание на фильтр-пресс и далее на утилизацию. Имея повышенное содержание Al_2O_3 , шлам способствует повышению прочности, кислотостойкости и термостойкости керамических кислотоупоров. Отличительной особенностью глиноземсодержащего шлама от отработки алюминия и его сплавов является высокая степень дисперсности. По этому признаку она не имеет себе равных среди порошкообразных материалов, получаемых механическим измельчением [8, 9]. Высокая степень дисперсности придает шламу устойчивую коагуляционную структуру, типичную для всех гелей. Положительным следствием высокой дисперсности шлама ($9000\text{--}10000\text{ см}^2/\text{г}$) является большая его пластичность (>10), что позволяет использовать для производства кислотоупоров малопластичные каолиновые глины. Химический состав шлама представлен в табл. 1. Глиноземсодержащий шлам от отработки алюминия и его сплавов относится к нанотехногенному сырью. Эффект от внедрения наночастиц принципиально выражается в том, что в системе появляется не только дополнительная граница раздела, но и носитель квантово-механических проявлений. Присутствие в

Таблица 1. Химический состав исходных компонентов

Компонент	Содержание, %						
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	$R_2\text{O}$	$\Delta m_{\text{прк}}$
ГЦИ	58,74	21,39	1,76	1,22	6,21	1,82	7,34
Хвосты обогащения полиметаллических руд	74,72	9,19	1,45	1,85	4,44	6,93	1,42
Глиноземсодержащий шлам от отработки алюминия и его сплавов	2,30	58,80	4,80	1,40	3,80	4,80	22,80

Таблица 2. Составы керамических масс

Компонент	Содержание отходов, мас. %, в составе						
	1	2	3	4	5	6	7
ГЦИ — X_1	80	70	65	60	55	50	45
Хвосты обогащения полиметаллических руд — X_2	5	10	12	15	17	20	22
Глиноземсодержащий шлак от отработки алюминия и его сплавов — X_3	15	20	23	25	28	30	33
Число пластичности	20	18	17	15	13	12	11

Таблица 3. Физико-механические свойства образцов разных составов (см. табл. 2)

Показатели	1	2	3	4	5	6	7
Морозостойкость, циклы	132	148	151	153	155	158	165
Предел прочности при изгибе, МПа	51	61	63	64	66	68	71
Термостойкость, теплосмены	9	11	12	13	15	16	18
Кислотостойкость, %	97,3	97,8	98,0	98,1	98,3	98,4	98,8

системе наночастиц способствует увеличению объема адсорбционно и хемосорбционно связываемой ими воды и уменьшению объема капиллярно-связанной и свободной воды, что приводит к повышению пластичности керамической массы и прочности [6–9].

Для изучения влияния хвостов обогащения полиметаллических руд (X_2) и глиноземсодержащего шлака от отработки алюминия и его сплавов (X_3) на физико-механические показатели кислотоупоров исследованы составы, приведенные в табл. 2. Для производства керамических материалов используют шихту с числом пластичности, как правило, 11–12. Меньшее число пластичности керамической шихты приводит к появлению трещин на плитках после формования и при этом изделия имеют низкую механическую прочность. Поэтому использование в керамических массах глинистой части хвостов гравитации в количестве менее 45 % нецелесообразно (см. табл. 2) [14].

Керамическую массу готовили пластическим способом при влажности 20–24 %, из массы формовали квадратные плитки типа ПК-1, которые высушивали до остаточной влажности не более 5 %, а затем обжигали при 1250 °С. В табл. 3 приведены физико-механические показатели кислотоупорной плитки. Как видно из табл. 2 и 3, с повышением в керамической массе содержания хвостов обогащения полиметаллических руд и глиноземсодержащего шлака все физико-механические свойства образцов улучшаются. При проведении экспериментов такие факторы, как давление прессования и температура обжига, оставались постоянными и поэтому на полученные результаты не влияли. Таким образом, определяющим фактором

качества образца является процентное содержание отходов цветной металлургии.

В настоящей работе использовали регрессионный анализ, который является основным методом современной математической статистики для выявления скрытых и неявных связей между данными наблюдений [10, 11]. Метод позволяет получить знания о ранее неизвестных связях и закономерностях и подобрать обоснованные уравнения. Подобранные модельные уравнения весьма полезны для определения состава керамической массы, обладающей наилучшими свойствами. Регрессионный анализ проводили в четыре этапа: на первом этапе анализировали влияние содержания хвостов обогащения полиметаллических руд и глиноземсодержащего шлака на морозостойкость кислотоупоров, на втором — на предел прочности при изгибе, на третьем — на термостойкость, на четвертом — на кислотостойкость. В табл. 4 приведены значения параметров линейных функций Y_i , где $i = 1, \dots, 4$, и величин регрессионного анализа для всех четырех этапов исследования.

Для нахождения уравнения регрессии

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (1)$$

применили метод наименьших квадратов. Получены следующие модельные уравнения: для морозостойкости

$$Y_1 = 106,79 - 0,53X_1 + 2,11X_2, \quad (2)$$

для предела прочности при изгибе

$$Y_2 = 36,83 - 0,17X_1 + 1,17X_2, \quad (3)$$

для термостойкости

$$Y_3 = 1 + 0X_1 + 0,5X_2, \text{ или } Y_3 = 1 + 0,5X_2, \quad (4)$$

Таблица 4. Значения величин регрессионного анализа для первых трех этапов

Значение	Для уравнения регрессии для			
	предела прочно- сти при сжатии, МПа (Y_1)	предела прочно- сти при изгибе, МПа (Y_2)	термостойкости, циклы (Y_3)	кислотостой- кости, % (Y_4)
Коэффициента b_0	106,79	36,83	1	95,65
Коэффициента b_1	-0,53	-0,17	0	-0,06
Коэффициента b_2	2,11	1,17	0,50	0,13
Средней ошибки аппроксимации A , %	1,67	2,08	2,34	0,05
Стандартной ошибки (для оценки Y) S	3,34	1,98	0,50	0,07
Коэффициента детерминации R^2	0,92	0,94	0,98	0,98
Границы интервала с надежностью 95 % для b_0 :				
нижняя	0,9	-44,6	-39,95	80,07
верхняя	212,7	118,3	41,95	111,23
Границы интервала с надежностью 95 % для b_1 :				
нижняя	-11,6	-8,7	-4,27	-1,68
верхняя	10,5	8,3	4,27	1,57
Границы интервала с надежностью 95 % для b_2 :				
нижняя	-8,5	-7,0	-3,6	-1,43
верхняя	12,7	9,3	4,6	1,69
F -наблюдаемое значение	26,24	29,37	113,43	127,82

для кислотостойкости

$$Y_4 = 95,65 - 0,06X_1 + 0,13X_2. \quad (5)$$

Для оценки величины корреляции эксперимента с моделью определили коэффициент детерминированности R^2 , получаемый при сравнении фактических и предсказанных значений Y . Известно, что R^2 при расчетах нормируется от 0 до 1. Если он близок к единице, то уравнение регрессии лучше описывает фактические данные и факторы сильнее влияют на результат. При значении R^2 , близком к 0, уравнение регрессии плохо описывает фактические данные и факторы оказывают слабое воздействие на результат. Для уравнений (2)–(5) можно сделать вывод, что имеется полная корреляция модели с экспериментом. Значения коэффициентов детерминированности приведены в табл. 4.

Для оценки статистической надежности уравнения регрессии использовали критерий Фишера. Определили наблюдаемое значение F -критерия по формуле

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{(n - m - 1)}{m},$$

где $m = 2$; $n = 7$ (см. табл. 4).

Затем определяли табличное значение по таблицам распределения Фишера для заданного уровня значимости ($\alpha = 0,05$). В нашем слу-

чае F табличное равно 6,94. Если наблюдаемое значение F -критерия меньше табличного, то уравнение в целом статистически незначимо, т. е. делается вывод о возможности случайного характера взаимосвязи между переменными. В противном случае с вероятностью 0,95 можно утверждать, что коэффициент детерминации статистически значим и найденная оценка уравнения регрессии статистически надежна. Таким образом, все уравнения регрессии (2)–(5) статистически надежны с вероятностью 0,95.

Анализ модельных графиков полезен как при уточнении диапазонов состояния между опытами, так и для прогнозирования результатов, не вошедших в эксперимент. Графики полученных зависимостей и экспериментальные данные показаны на рис. 1. Приведенный регрессионный анализ позволил получить математические модели, делающие возможным предсказание свойств керамических масс в точках, не вошедших в серию эксперимента, а также определить область оптимальных с точки зрения использования отходов цветной металлургии.

Рентгенофазовый состав керамических составов 4–7 исследовали на дифрактометре ДРОН-6 с Co K_α -излучением при скорости вращения столика с образцом 1 град/мин. На рис. 2, а показан фазовый состав образцов состава 4. На дифрактограмме порошка состава

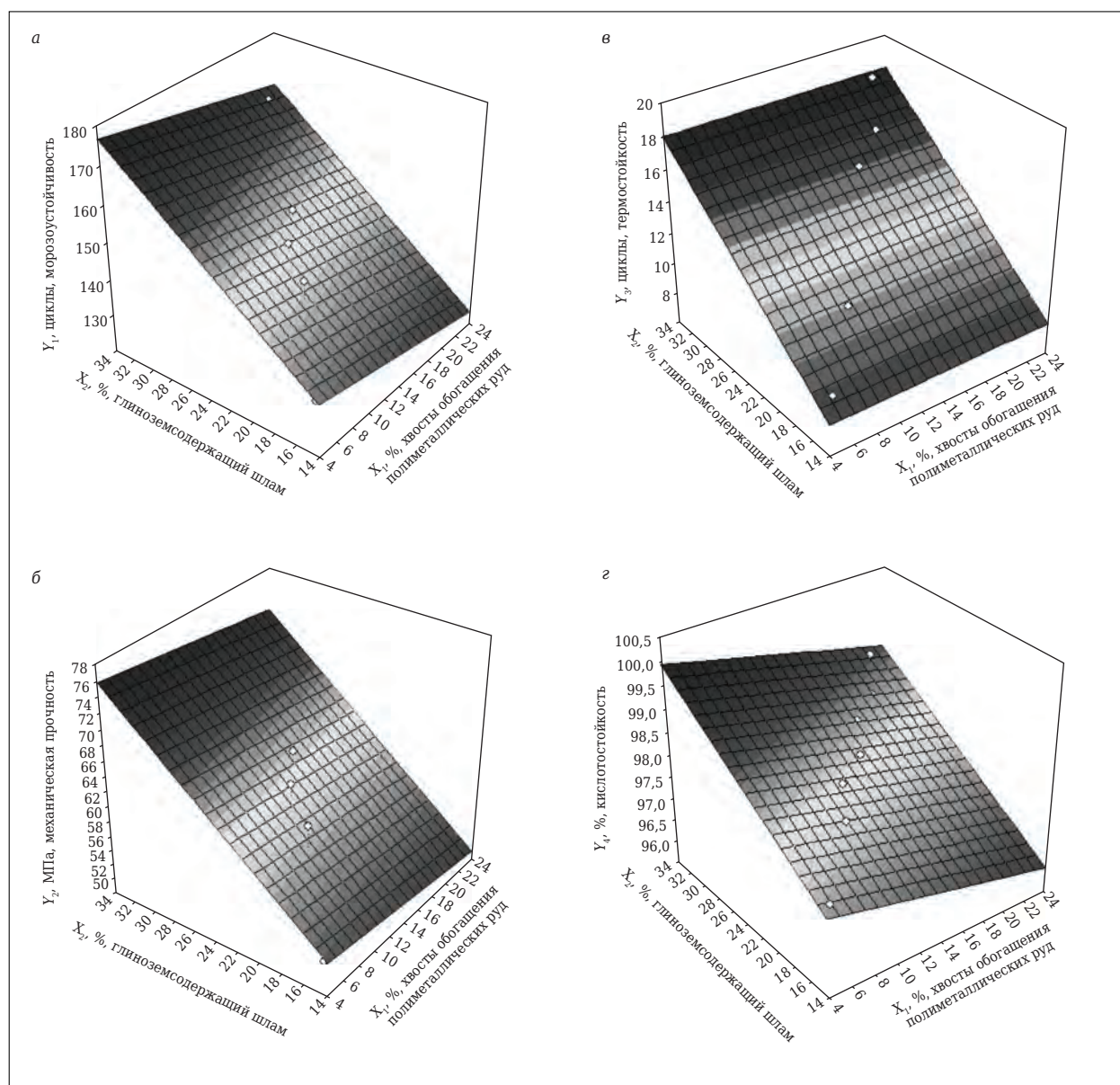


Рис. 1. Влияние содержания хвостов обогащения полиметаллических руд и глиноземсодержащего шлама на морозостойкость (а), предел прочности при изгибе (б), термостойкость (в) и кислотостойкость кислотоупоров (г)

4 отмечаются характерные интенсивные линии муллита (0,1699, 0,188, 0,200, 0,211, 0,220, 0,270 и 0,339 nm), кристобалита (0,173, 0,246, 0,292 и 0,403 nm), кварца (0,181, 0,234 и 443 nm), гематита (0,251 и 0,365 nm).

Муллит — единственное устойчивое соединение в системе $Al_2O_3-SiO_2$. Силлиманит и андалузит ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) стабильны только в земной коре, а при нагревании распадаются на муллит и кремнезем [17–20]. Муллит — один из часто встречающихся минералов в обожженных керамических материалах. Высокие показатели огнеупорности, плотности, химической стойкости и механической прочности привлекли внимание исследователей как к получению синтетического муллита, так и к исследова-

нию его структуры [17–20]. Гематит является самым низкотемпературным оксидом железа, и поэтому он может образовываться в области низких температур (<500 °C) [21]. При 550 °C происходят потеря магнитных свойств и изменение кристаллической решетки, что связано с переходом β -фазы в устойчивую α -форму. Гематит в керамических материалах способствует образованию железистого стекла, которое инициирует образование муллита [22–25]. Содержание кристобалита снижает механическую прочность изделий, а образование его из аморфного кремнезема, выделившегося в результате муллитизации, обуславливает проницаемость изделий [26–28]. В связи с этим необходимо найти способы регулирования про-

цессов фазообразования, происходящих при обжиге керамических изделий. В частности, найти способы устранения процесса формирования кристобалита в плотносспекшихся керамических изделиях [26–28]. Объемный эффект при переходе α -кварца в α -кристобалит составляет 15,4 %, что способствует разрыхлению поверхности кристаллической решетки [21, 26–28]. У разрыхленных и богатых дефектами, а также аморфных веществ твердофазные реакции протекают быстрее благодаря ускоренной самодиффузии и гетеродиффузии [21, 26–28]. Кристаллизация кристобалита отмечается по трещинам и краям зерен кварца. Аморфный кремнезем, образующийся в образцах состава 4 при муллитизации, растворяется в расплаве, содержание которого увеличивается при 1250 °С. При дальнейшем повышении в составах керамических масс хвостов обогащения полиметаллических руд до 17 % и глиноземсодержащего шлама до 28 % (состав 5) заметного изменения не происходит, за исключением повышения пиков муллита и кристобалита (рис. 2, б). Увеличение содержания в составах керамических масс хвостов обогащения полиметаллических руд до 20 % и глиноземсодержащего шлама до 30 % (состав 6) приводит к образованию α - Al_2O_3 (рис. 2, в).

Несмотря на то что в литературе описано большое количество полиморфных модификаций Al_2O_3 , в настоящее время достоверно доказано существование только двух: α - и γ -модификаций [21, 29]. В составе неметаллических включений присутствует обычно высокотемпературная α -модификация, которая является аналогом природного минерала — корунда. Температура плавления корунда 2050 °С, превращение низкотемпературной γ -в α -модификацию происходит при температурах выше 1000 °С.

В публикации [30] указывается, что если в сырьевых материалах имеются примеси щелочных и щелочноземельных оксидов, которые в первую очередь взаимодействуют с SiO_2 , вся система в процессе обжига будет обогащаться корундом и обедняться муллитом, так как часть SiO_2 , которая должна бы пойти на образование муллита, будет связана в стеклофазе и пойдет на образование кристобалита. Таким образом, в зависимости от содержания в исходной массе Al_2O_3 и SiO_2 , количества и вида примесей и умышленно введенных добавок может существовать бесчисленное количество вариантов составов муллитовой и муллитокорундовой керамики. Понятно, что температура спекания и свойства при этом будут меняться в крайних случаях весьма существенно [30]. Корунд в от-

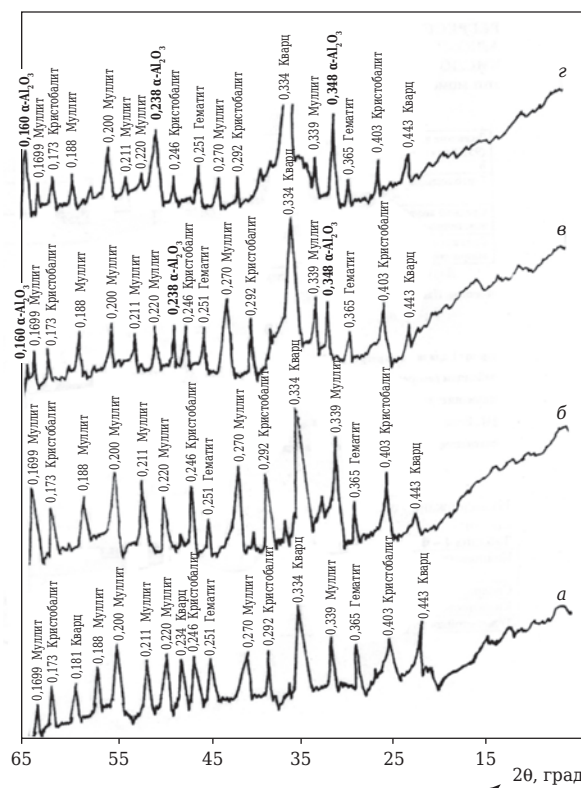


Рис. 2. Рентгенограммы составов 4(а) – 7(г)

личие от муллита незначительно повышает термостойкость, но в то же время существенно увеличивает механическую прочность и морозостойкость кислотоупоров.

При дальнейшем повышении содержания в составах керамических масс хвостов обогащения полиметаллических руд до 22 % и глиноземсодержащего шлама до 33 % (состав 7) заметного изменения не происходит, за исключением повышения пиков корунда (рис. 2, г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована зависимость между физико-механическими свойствами керамических материалов на основе ГЦИ и содержанием в материалах хвостов обогащения полиметаллических руд, глиноземсодержащего шлама от обработки алюминия и его сплавов. Модель зависимости строится на основании результатов фактического эксперимента и аналитически описывает взаимосвязь результатов опытов. Приведенный регрессионный анализ позволяет получить математические модели, делающие возможным предсказание свойств керамических масс в точках, не вошедших в серию эксперимента.

Исследования показали, что использование алюмосодержащих нанотехногенных сырьевых

материалов позволяет получать кислотоупоры с высокими физико-механическими и химическими показателями без применения природных традиционных материалов. Использование алюмосодержащих отходов в производстве кислотоупоров способствует образованию при обжиге изделий упрочняющего минерала — α -модификации Al_2O_3 , которая является аналогом природных минералов — корунда и муллита. Корунд в отличие от муллита значительно повышает термостойкость, но в то же время заметно увеличивает механическую прочность и морозостойкость керамических композиционных материалов.

Библиографический список

1. **Абдрахимов, В. З.** Экологические и практические аспекты использования высокоглиноземистых отходов нефтехимии в производстве кислотоупоров / В. З. Абдрахимов // Новые огнеупоры. — 2010. — № 1. — С. 40–43.
2. **Абдрахимов, В. З.** Применение алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения / В. З. Абдрахимов // Новые огнеупоры — 2013. — № 1. — С. 13–23.
3. **Абдрахимов, В. З.** Исследование фазового состава керамических материалов на основе алюмосодержащих отходов цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова // Новые огнеупоры. — 2015. — № 1. — С. 3–9.
4. **Кайракбаев, А. К.** Исследование влияние Al_2O_3 на кислотостойкость и термостойкость кислотоупоров с применением регрессионного метода анализа / А. К. Кайракбаев, В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова // Новые огнеупоры. — 2015. — № 5. — С. 58–62.
5. **Абдрахимов, В. З.** Использование отходов золоторудного месторождения, нефтехимии и энергетики в производстве керамических материалов — перспективное направление для «зеленой» экономики / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова, А. К. Кайракбаев // Экология и промышленность России. — 2015. — № 5. — С. 37–41.
6. **Абдрахимова, Е. С.** Экологические аспекты использования золы легкой фракции и отходов цветной металлургии в производстве кислотоупорного кирпича / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Новые огнеупоры. — 2011. — № 5. — С. 41–44.
7. **Абдрахимова, Е. С.** Физико-химические методы исследования минерального состава и структуры пористости глинистой части хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Новые огнеупоры. — 2011. — № 1. — С. 10–16.
8. **Пат. 2385304 RU C 1 C 04 B 33/132.** Керамическая масса для получения кислотоупоров / Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З.; заявл. 09.12.08; опубл. 27.03.10, Бюл. № 10.
9. **Пат. 2443654 RU C 1 C 04 B 33/132.** Керамическая масса для изготовления клинкерных керамических изделий / Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З.; заявл. 23.06.10; опубл. 27.02.12, Бюл. № 6.
10. **Абдрахимова, Е. С.** К вопросу использования алюмосодержащего нанотехногенного сырья в производстве керамических композиционных материала

ла — α -модификации Al_2O_3 , которая является аналогом природных минералов — корунда и муллита. Корунд в отличие от муллита значительно повышает термостойкость, но в то же время заметно увеличивает механическую прочность и морозостойкость керамических композиционных материалов.

- лов / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Материаловедение. — 2014. — № 12. — С. 44–52.
11. **Абдрахимова, Е. С.** Инновационные направления по использованию шламов щелочного травления солевых алюминиевых шлаков в производстве жаростойких композитов и кислотоупорах / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Экология и промышленность России. — 2014. — № 11. — С. 36, 37.
12. **Абдрахимова, Е. С.** Инновационные направления по использованию нанотехногенных отходов в производстве керамических композиционных материалов / Е. С. Абдрахимова, И. Ю. Рошупкина, В. З. Абдрахимов // Экология промышленного производства. — 2014. — № 3. — С. 20–24.
13. **Абдрахимов, В. З.** Инновационные направления использования кальцийсодержащего нанотехногенного сырья: осадок — отхода сточных вод, отхода пылеуноса асфальтобетонных заводов, шлама от водоочистки воды и гальванического шлама в производстве кирпича / В. З. Абдрахимов, А. В. Колпаков // Изв. вузов. Строительство. — 2013. — № 8. — С. 41–46.
14. **Абдрахимов, В. З.** Керамические строительные материалы / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова. — Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. — 326 с.
15. **Абдрахимов, В. З.** Исследование регрессивным методом зависимости отходов топливно-энергетической промышленности на сушильные свойства стеновой керамики / В. З. Абдрахимов, А. К. Кайракбаев, Е. С. Абдрахимова // Экология промышленного производства. — 2015. — № 1. — С. 6–10.
16. **Абдрахимов, В. З.** Исследование влияния горелых пород в производстве теплоизоляционного кирпича на механические свойства методом линейной регрессии / В. З. Абдрахимов, А. В. Колпаков, А. К. Кайракбаев // Изв. вузов. Строительство. — 2014. — № 9/10. — С. 22–28.
17. **Абдрахимов, В. З.** Исследование кристаллизации муллита при обжиге кислотоупоров / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова // Новые огнеупоры. — 2012. — № 4. — С. 39–45.
18. **Абдрахимова, Е. С.** Синтез муллита из техногенного сырья и пирофиллита / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Журнал неорганической химии. — 2007. — Т. 52, № 3. — С. 395–400.
19. **Абдрахимова, Е. С.** К вопросу о муллите / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2006. — № 3. — С. 40–46.

20. **Абдрахимова, Е. С.** Формирование муллитов при обжиге кислотоупоров / *Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов* // *Материаловедение*. — 2003. — № 4. — С. 26–31.
21. **Литвинова, Т. И.** Петрография неметаллических включений / *Т. И. Литвинова, В. П. Пирожкова, А. К. Петров* — М.: Металлургия, 1972. — 184 с.
22. **Абдрахимова, Е. С.** Превращения оксидов железа при обжиге бейделлитовой глины / *Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов* // *Журнал неорганической химии*. — 2009. — Т. 54, № 1. — С. 42–46.
23. **Абдрахимова, Е. С.** Структурные превращения соединений железа в глинистых материалах по данным мессбауэровской спектроскопии / *Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов* // *Журнал физической химии*. — 2006. — Т. 80, № 7. — С. 1–8.
24. **Абдрахимова, Е. С.** Процессы, происходящие при обжиге глинистой части хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд / *Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов* // *Новые огнеупоры*. — 2009. — № 3. — С. 13–19.
25. **Абдрахимова, Е. С.** Физико-химические процессы при обжиге кислотоупоров на основе техногенного сырья / *Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов* // *Изв. вузов. Химия и химическая технология*. — 2006. — Вып. 10. — С. 52–55.

26. **Абдрахимова, Е. С.** Полиморфные превращения SiO_2 в глинистых материалах различного химико-минералогического состава // *Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов, А. В. Абдрахимов* // *Материаловедение*. — 2002. — № 7 — С. 35–41.
27. **Абдрахимова, Е. С.** Полиморфные превращения кварца в глинах различного химико-минералогического состава / *Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов, А. В. Абдрахимов* // *Изв. вузов. Строительство*. — 2007. — № 6. — С. 40–47.
28. **Абдрахимов, В. З.** Фазовые превращения при обжиге легкоплавких глин / *В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова* // *Материаловедение*. — 2007. — № 8. — С. 35–41.
29. **Абдрахимов, В. З.** Экологические и практические аспекты использования высокоглиноземистых отходов нефтехимии в производстве кислотоупоров / *В. З. Абдрахимов* // *Новые огнеупоры*. — 2010. — № 1. — С. 40–42.
30. **Будников, П. П.** Химическая технология керамики и огнеупоров / *П. П. Будников, В. Л. Балкевич, А. С. Бережной* [и др.]. — М.: Стройиздат, 1972. — 550 с. ■

Получено 07.05.15
© Е. С. Абдрахимова,
2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

4. Uluslararası Alüminyum
Teknolojileri, Makina ve
Ürünleri İhtisas Fuarı

4th International Aluminium
Technology, Machinery
and Products Trade Fair

8-10 Ekim / October
2015

İSTANBUL

Istanbul Fuar Merkezi
Istanbul Expo Center

ALUEXPO-2015 —

4-я Международная конференция по алюминию

8–9 октября 2015 г. г. Стамбул, Турция

www.aluexpo.com

