

Исследования влияния содержания золы легкой фракции на микропористость керамики методом диффузного малоуглового рассеяния*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-50-55>

КАЙРАКБАЕВ А.К.

Канд. физ.-мат. наук,
доцент ТОО «Технопарк Zerek учреждения
Актюбинский университет им. С. Баишева»,
030000, г. Актюбе, Республика Казахстан,
e-mail: kairak@mail.ru

АБДРАХИМОВА Е.С.

Канд. техн. наук,
доцент ФГАОУ ВО «Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»,
443086, г. Самара, Россия,
e-mail: 3375892@mail.ru

АБДРАХИМОВ В.З.

Доктор техн. наук, профессор,
профессор ФГБОУ ВО «Самарский
государственный экономический университет»,
443090, г. Самара, Россия,
e-mail: 3375892@mail.ru

Анализ экспериментальных данных, полученных методом диффузного рассеяния рентгеновских лучей (РМУ), показывает, что с увеличением содержания ЗЛФ (золы легкой фракции) в керамических массах до 50% обеспечивается улучшение характеристик пористой структуры керамических плиток: снижается общая пористость, повышается однородность микропор по размерам, уменьшаются их общий объем и значение эффективного радиуса. Дальнейшее увеличение содержания ЗЛФ приводит к ухудшению не только параметров пористой структуры при температуре обжига 1050°C, но и физико-механических показателей плиток. Преимуществом метода РМУ является получение количественных экспериментальных результатов на образцах без нарушения их структуры.

Ключевые слова: глинистая часть «хвостов» гравитации, зола легкой фракции, микропористость, метод диффузного рассеяния.

Для цитирования: Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследования влияния содержания золы легкой фракции на микропористость керамики методом диффузного малоуглового рассеяния // Уголь. 2021. № 1. С. 50-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-1-50-55.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Казахстане ЗШО (золошлаковые отходы) практически не используются и в большинстве случаев загрязняют окружающую среду [1, 2, 3]. Золоотвалы не просто загрязняют воздушный и водный бассейны, но и способствуют изменению химико-минерального состава почв далеко не в лучшую сторону [4, 5, 6]. При высыхании золоотвалов на их поверхности образуется пыль, которая даже при слабом ветре отрицательно влияет не только на продуктивность сельскохозяйственных угодий, но и на здоровье людей [7, 8, 9]. При сильном ветре превышение предельно допустимой концентрации золы в воздухе может наблюдаться на расстоянии до четырех километров от кромки отвала. Загрязняющие вещества могут проникать в подземные воды, а с ними – в реки и водоемы [10, 11, 12].

Зола, полученная после сжигания жидкого и особенно твердого топлива, является многотоннажным отходом

* Работа выполнена в рамках реализации научно-технического проекта, одобренного к грантовому финансированию на 2018-2020 годы Национальным научным советом Республики Казахстан по направлению науки «Рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции». Договор на грантовое финансирование № 177 от 15 марта 2018 года, ИРН 05131501.

энергетики и требует обязательной утилизации. Имеются данные, что тепловые электростанции в 2-4 раза сильнее загрязняют среду радиоактивными веществами, чем АЭС такой же мощности [13].

Производство керамических материалов – одна из самых материалоемких отраслей народного хозяйства, поэтому рациональное использование топлива, сырья и других материальных ресурсов становится решающим фактором ее успешного развития в условиях проводимой экономической реформы [10, 11, 12, 13].

Целями работы являются:

- получение керамического материала на основе отхода цветной металлургии – глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд, используемой в качестве связующей, и отхода энергетики – золы легкой фракции, используемой в качестве отощителя и плавня без применения природных традиционных материалов;
- исследование влияния золы легкой фракции на физико-механические показатели керамического материала;
- исследование влияния золы легкой фракции на микроструктуру керамического материала методом диффузного малоуглового рассеяния.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Формирование структуры керамических плиток при обжиге исследовалось с применением методов малоуглового диффузного рассеяния рентгеновских лучей (РМУ) [14]. Для исследования методом РМУ от обожженных керамических плиток с помощью алмазного диска отпиливали пластинки толщиной 0,3 мм. Пластинки отмывались в спирте и сушились в вакуумном шкафу. Преимущество метода РМУ – получение диффузной картины малоуглового рассеяния без разрушения структуры образцов. Коллимация рентгеновского пучка – щелевая. Ширина пучка (перед детектором) – 0,05, высота – $100 \cdot 10^{-3}$ м. Расстояние между входной щелью и образцом $250 \cdot 10^{-3}$ м, источник излучения – $\text{CuK}\alpha$. Режим работы трубки – напряжение 35 кВ, ток – 20 мА. Перемещение детектора в непрерывном режиме работы – со скоростью 2,0 угл. мин/мин. При ступенчатом режиме работы регистрация проводилась через каждые 2 мин по автоматической записи на ЭВМ «ИСКРА – 108Д». Давление в рабочем объеме приставки – не более 13,3 Па.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Зола легкой фракции. В настоящей работе в качестве отощителя (для снижения сроков сушки) и в качестве плавня (для снижения температуры обжига) использовалась зола легкой фракции (ЗЛФ), которая уносится водой на периферию золоотвала как наиболее легкий компонент. В работах [13, 15, 16] было показано образование ЗЛФ, которая получается в результате пылевидного сжигания углей и куда она поступает после сжигания, химический состав ЗЛФ представлен в *табл. 1*.

Глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд. В качестве связующего (глинистого компонента) для получения керамических плиток использовалась глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ) [19, 20, 21], которая является отходом цветной металлургии, химический состав представлен в *табл. 1*.

Минералогический состав ГЦИ, который представлен следующими минералами, мас. %: каолинит – 43-48, гидрослюда + монтмориллонит – 8-12, кварц – 13-16, полевой шпат – 18-20, кальцит – 2, циркон – 2, ильменит – 3, оксиды железа – 3, содержание органических примесей – 0,8-0,98.

Технология производства. Приготовление керамической массы по составам, представленным в *табл. 2*, осуществлялось по традиционной технологии следующим образом: совместный помол всех компонентов по сухому способу в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите № 0063 1-2%.

Затем полученная шихта увлажнялась до влажности 6-8%. Из нее прессовались плитки размером $100 \times 100 \times 10$ мм. После сушки до остаточной влажности не более 1,5% плитки обжигались в лабораторной печи по методу скоростного режима обжига, температура обжига – 1050°C. Физико-механические показатели фасадных плиток представлены в *табл. 3*.

Фасадные плитки по физико-механическим показателям должны удовлетворять следующим требованиям: водопоглощение менее – 10%; морозостойкость – более 50 циклов. Фасадные плитки исследуемых составов удовлетворяют требованиям ГОСТа (*см. табл. 3*). Как следует из *табл. 3*, с увеличением в составах керамических масс ЗЛФ до 50% физико-механические показатели улучшаются, а дальнейшее увеличение приводит к снижению.

Таблица 1

Химический состав исследуемых отходов
Table 1. Chemical composition of the studied waste

| Компонент | Содержание оксидов, мас. % | | | | | | |
|-----------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----|-------|----------------------|--------|
| | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | CaO | MgO | R_2O | П.п.п. |
| ЗЛФ | 58-59 | 21-22 | 5-5,5 | 3-4 | 1-1,5 | 8-9 | 0,5-1 |
| ГЦИ | 58-59 | 23-24 | 5-6 | 1-2 | 1-1,5 | 17-8,5-2 | - |

Таблица 2

Составы керамических масс
Table 2. Compositions of ceramic masses

| Компоненты | Содержание компонентов (мас. %) | | | | | | |
|--|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ) | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 |
| Зола легкой фракции (ЗЛФ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |

Физико-механические показатели фасадных плиток
Table 3. Physical and mechanical characteristics of facade tiles

| Показатели | Составы | | | | |
|--|----------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 гци | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Водопоглощение, % | 8,0 | 5,84 | 5,54 | 5,15 | 5,17 |
| Механическая прочность при изгибе, МПа | 30,8 | 34,6 | 35,2 | 36,2 | 36,0 |
| Плотность, г/см ³ : | | | | | |
| – средняя | 2,19 | 2,15 | 2,13 | 2,13 | 2,12 |
| – истинная | 2,68 | 2,56 | 2,54 | 2,54 | 2,52 |
| Пористость, %: | | | | | |
| – открытая | 17,52 | 12,55 | 11,58 | 10,87 | 10,62 |
| – закрытая | 0,8 | 4,02 | 4,52 | 3,03 | 3,98 |
| – общая | 18,32 | 16,02 | 16,10 | 14,0 | 14,60 |
| ТКЛР·10 ⁻⁶ /°C | 7,96 | 6,93 | 6,73 | 5,55 | 6,17 |
| Кислотостойкость, % | 86,48 | 90,48 | 91,42 | 92,96 | 92,76 |
| Морозостойкость, циклы | 470 | 480 | 485 | 494 | 495 |
| Истираемость, г/м ² | 0,15 | 0,01 | 0,09 | 0,08 | 0,08 |
| Термостойкость, циклы | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 |

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПОРИСТОСТИ

Для керамических материалов характерно содержание пор размером порядка 10-1000·10⁻⁷ м [20, 21, 22, 23]. В связи с этим структуру фасадных плиток изучали с применением метода диффузного малоуглового рассеяния рентгеновских лучей (РМУ). Преимуществом этого метода является также получение количественных экспериментальных результатов на образцах без нарушения их структуры.

Как известно, всякое рентгеновское рассеяние под малыми углами свидетельствует о той или иной неоднородности строения исследуемого вещества, о наличии флуктуации плотности на расстоянии 20-1000·10⁻¹⁰ м [20, 21, 22, 23]. В керамических материалах такая неоднородность в основном обусловлена разной плотностью твердых фаз и пористостью. Плотность фаз [(кг/м³)·10⁻³]: муллит – 3,05; кварц – 2,65; кремнеземистое стекло – 2,49-2,60; кристобалит – 2,27-2,35; поры – 1,29 (за плотность пор принята плотность воздуха). Наибольшее различие по плотности относительно твердых фаз имеют поры.

Максимальный размер пор, участвующих в рассеянии рентгеновских лучей, ограничен верхним пределом разрешения экспериментальной установки и составляет для применяемой в работе аппаратуры 800·10⁻¹⁰ м. Это позволяет исследовать поры в интересующей нас области распределения.

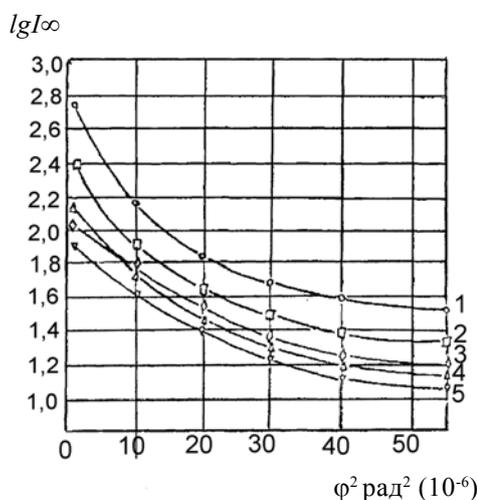
В непрерывном режиме работы прибора получены рентгенограммы, по которым построены графики lgI∞ – φ², где φ = 2sinθ (см. рисунок).

Угловой коэффициент α = ΔlgI/φ² позволяет определить радиус инерции в исследуемом интервале: R₀ = 0,644√-α.

В ступенчатом режиме работы рентгеновского прибора получены дискретные значения R₀ и их относительное содержание. По распределению содержания пор определены эффективные средние радиусы инерции пор:

$$R_{0,эф.}^2 = \sum f^2 \cdot R_{oi} / f_k^2,$$

где R_{oi} – i-й радиус инерции пор, f = DI/R_{oi} – функция относительного содержания пор с i-м радиусом.



Малоугловые рентгенограммы керамических образцов при температуре обжига 1050°С: l – интенсивность; φ – угол рассеяния, рад; 1 – состав № 1_{гци}; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 5
 Fig. Small-angle radiographs of ceramic samples at a firing temperature of 1050°С: l – intensity; φ – scattering angle, rad; 1 – composition: № 1_{гци}; 2 – 4; 3 – 6; 4 – 7; 5 – 5

Данные рисунка (зависимость lgI∞ от φ²) показывают зависимость характера пористой структуры в образце от температуры обжига. Изменение параметров микропористости керамического образца объясняется различными процессами, происходящими в обжигаемом материале. Увеличение кривизны на кривых зависимости lgI∞ – φ² (см. рисунок) свидетельствует об уменьшении однородности пор по размерам.

Интенсивное образование расплава и снижение его вязкости происходят при увеличении ЗЛФ в составах до 50%. При увеличении содержания ЗЛФ до 50% уменьшается эффективный средний радиус микропор R_{эф} (табл. 4).

При увеличении содержания ЗЛФ в составах керамических масс до 50% микропористая структура становится однороднее, о чем свидетельствует уменьшение кривизны зависимости lgI∞ – φ² (см. рисунок). Приближение логарифмической кривой к началу координат показы-

Радиусы инерции пор в образцах из различных составов, обожженных при температуре 1050°C
Table 4. Pore inertia Radii in samples from various compositions burned at 1050°C

| Составы | Радиусы инерции пор, 10 ⁻¹⁰ м | | |
|------------------|--|------------|-----------------|
| | R_{\max} | R_{\min} | $R_{\text{эф}}$ |
| 1 _{гли} | 288 | 217 | 227 |
| 4 | 342 | 113 | 227 |
| 5 | 342 | 59 | 200 |
| 6 | 342 | 68 | 205 |
| 7 | 329 | 103 | 216 |

вает уменьшение общего объема микропор. Дальнейшее увеличение содержания ЗЛФ в составах керамических масс приводит к увеличению среднеэффективного радиуса инерции микропор $R_{\text{эф}}$ и увеличению их общего объема (см. табл. 4).

Анализ экспериментальных данных, полученных методом диффузного рассеяния рентгеновских лучей (РМУ), показывает, что с увеличением содержания ЗЛФ до 50% обеспечивается улучшение характеристик пористой структуры плиток. Снижается общая пористость. Повышается однородность микропор по размерам, уменьшаются их общий объем и значение эффективного радиуса. Дальнейшее увеличение содержания ЗЛФ приводит к ухудшению параметров пористой структуры и физико-механических показателей плиток при температуре обжига 1050°C (см. табл. 4).

Таким образом, анализ экспериментальных данных показывает, что введение в составы керамических масс золы легкой фракции значительно улучшает физико-механические показатели фасадных плиток. Увеличение в составах керамических масс золы легкой фракции до 50% обеспечивает улучшение характеристик пористой структуры изделий.

ВЫВОДЫ

1. Получены керамические фасадные плитки на основе глинистой части «хвостов» гравитации цирконий-ильменитовых руд и золы легкой фракции без применения природных традиционных материалов.

2. Исследования показали, что глинистая часть «хвостов» гравитации цирконий-ильменитовых руд может использоваться для получения керамических плиток в качестве связующей, а зола легкой фракции – в качестве отощителя (для снижения сроков сушки) и в качестве плавня (для снижения температуры обжига).

3. Анализ экспериментальных данных, полученных методом диффузного рассеяния рентгеновских лучей (РМУ), показывает, что с увеличением содержания ЗЛФ (золы легкой фракции) в керамических массах до 50% обеспечивается улучшение характеристик пористой структуры керамических плиток: снижается общая пористость, повышается однородность микропор по размерам, уменьшаются их общий объем и значение эффективного радиуса. Дальнейшее увеличение содержания ЗЛФ приводит к ухудшению не только параметров пористой структуры при температуре обжига 1050°C, но и физико-механических показателей плиток.

4. Преимуществом метода РМУ является получение количественных экспериментальных результатов на образцах без нарушения их структуры.

Список литературы

1. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Экологические и практические аспекты использования шлака от сжигания угля в производстве керамических материалов на основе межсланцевой глины // Уголь. 2014. № 4. С. 41-43. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/04014.pdf> (дата обращения: 15.12.2020).

2. Абдрахимов В.З., Ильина Т.А. Использование золошлакового материала в производстве пористого заполнителя способствует развитию «зеленой» экономики и транспортно-логической инфраструктуры // Уголь. 2019. № 11. С. 59-63. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-59-63.

3. Абдрахимова Е.С., Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З. Использование золошлакового материала в производстве теплоизоляционных материалов на основе межсланцевой глины // Уголь. 2016. № 10. С. 74-78. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-10-74-78.

4. Абдрахимова Е.С., Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З. Использование отходов углеобогащения в производстве керамических материалов – современные приоритеты развития для «зеленой» экономики // Уголь. 2017. № 2. С. 54-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-2-54-57.

5. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С., Абдрахимова И.Д. Исследование теплопроводности легковесных материалов из отходов топливно-энергетической промышленности без применения природных традиционных материалов // Уголь. 2016. № 4. С. 72-75. DOI: 10.18796/0041-5790-2016-4-72-75.

6. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С., Абдрахимова И.Д. Получение теплоизоляционного материала на основе жидкого стекла и отходов углепереработки, образующихся при обогащении коксующихся углей // Уголь. 2017. № 4. С. 64-67. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-4-64-67.

7. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З. Влияние золошлакового материала «АО Актобе ТЭЦ» на предельное напряжение при сушке кирпича // Уголь. 2020. № 3. С. 76-81. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-3-76-81.

8. Экологические, экономические и практические аспекты использования многотоннажных отходов топливно-энергетического комплекса – сланцевой золы в производстве пористого заполнителя / Е.Г. Сафронов, А.Н. Сунтеев, Ю.Ю. Коробкова и др. // Уголь. 2019. № 4. С. 44-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-44-49.

9. Абдрахимов В.З. Снижение экологического ущерба экосистемам за счет использования межсланцевой глины и золошлакового материала в производстве легковесного кирпича и пористого заполнителя // Уголь. 2018. № 10. С. 77-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-77-83.

10. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование золошлакового материала Восточного Казахстана в производстве пористого заполнителя на основе жидкостекольной композиции // Уголь. 2019. № 1. С. 70-73. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-1-70-73.

11. Абдрахимов В.З. Повышение экологической безопасности за счет использования золошлакового материала и отработанного катализатора в производстве керамического кирпича на основе бейделлитовой глины // Биологическая совместимость: человек, регион, технологии. 2019. № 2. С. 35-42.

12. Абдрахимов В.З. Рециклинг отходов топливно-энергетического комплекса в производстве легковесного кирпича на основе глинистых материалов различного минерального состава // Экология промышленного производства. 2020. № 1. С. 10-16.

13. Абдрахимова Е.С. Образование золы легкой фракции и использовании ее в производстве плиток для полов // Уголь. 2019. № 11. С. 64-66. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-64-66.

14. Формирование пористой структуры керамического материала из глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд / И.А. Тогжанов, С.Ж. Сайбулатов, А.Ш. Чердобаев и др. // Журнал прикладной химии. 1989. Т 25. № 3. С. 874-875.

15. Абдрахимов В.З., Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С. Использование в производстве клинкерного кирпича отходов цветной металлургии и энергетики Восточного Казахстана // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 3. С. 14-18.

16. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Получение плиток для полов на основе золы лег-

кой фракции и глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд // Уголь. 2019. № 6. С. 78-81. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-6-78-81.

17. Глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд – сырье для производства керамических материалов / В.З. Абдрахимов, Е.С. Абдрахимова, Д.В. Абдрахимов и др. // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 5. С. 38-42.

18. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Use of Nonferrous Metallurgy Waste: Clayey Portion of the Zircon-Ilmenite Ore Gravity Tailings and Pyrite Cinders in Tile-Making / Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2020. Vol. 989. P. 47-53.

19. Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Использование отходов обогащения цветной и черной металлургии Казахстана в производстве керамических материалов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 6. С. 12-16.

20. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z. Rheological Properties of Ceramic Bodies and the Physical-Mechanical Indices of Acid-Resistant Materials Based on Nano-Technogenic Wastes from Petroleum Chemistry and Non-Ferrous Metallurgy and on Pyrophyllite // Glass and Ceramics. 2018. Vol. 75. N 7-8. P. 308-313.

21. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Synthesis of Composite Heat-Insulating Material Based on Liquid Glass and Salt Wastes from Aluminum Production // Glass and Ceramics. 2018. Vol. 75. N 3-4. P. 108-111.

22. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Effect of Different Coal-Enrichment Wastes on the Physical and Mechanical Properties and Phase Composition of Heat-Insulation Materials // Glass and Ceramics. 2017. Vol. 74. N 1-2. P. 55-59.

23. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Linear Thermal Expansion Coefficient of Ceramic Material Based on Non-Ferrous Metallurgy Wastes and Glaze and its Formation Mechanism During Firing // Glass and Ceramics. 2020. Vol. 76. N 9-10. P. 1-5.

MINERALS RESOURCES

Original Paper

UDC 691.666.3 © A.K. Kairakbaev, E.S. Abdrakhimova, V.Z. Abdrakhimov, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 1, pp. 50-55
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-50-55>

Title

STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE LIGHT FRACTION ASH CONTENT ON THE MICROPOROSITY OF CERAMICS BY DIFFUSE SMALL ANGLE SCATTERING

Authors

Kairakbaev A.K.¹, Abdrakhimova E.S.², Abdrakhimov V.Z.³

¹ Baishev University, Aktobe, 030000, Republic of Kazakhstan

² Samara University, Samara, 443086, Russian Federation

³ Samara State University of Economics, Samara, 443090, Russian Federation

Authors' Information

Kairakbaev A.K., PhD (Physico-mathematical), Associate Professor, Head of the Laboratory of Technopark Zerek, e-mail: kairak@mail.ru

Abdrakhimova E.S., PhD (Engineering), Associate Professor of "Chemistry" department, e-mail: 3375892@mail.ru

Abdrakhimov V.Z., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor, e-mail: 3375892@mail.ru

Abstract

The analysis of experimental data obtained by diffuse x-ray scattering (RMU) shows that with an increase in the content of ZLF (light fraction ash) in ceramic masses up to 50%, the characteristics of the porous structure of ceramic tiles are improved: the overall porosity decreases, the uniformity of micropores in size increases, their total volume and the value of the effective radius decreases. Further increase in the content of ZLF leads to a deterioration not only of the parameters of the porous structure at the firing temperature of 1050°C, but also of the physical and mechanical characteristics of tiles. The advantage of the RMU method is to obtain quantitative experimental results on samples without disturbing their structure.

Keywords

Clay part of “tails” of gravity, Ash light fraction, Microporosity, Method of diffuse scattering.

References

1. Abdrakhimov V.Z. & Abdrakhimova E.S. Environmental and practical aspects of coal bottom-ash involvement in interschistic clay-based ceramic materials production. *Ugol'*, 2014, (4), pp. 41-43. Available at: <http://www.ugolinfo.ru/Free/042014.pdf> (accessed 15.12.2020). (In Russ.).
2. Abdrakhimov V.Z. & Ilyina T.A. The use of ash and slag material in the production of porous aggregate contributes to the development of “green” economy and transport and logical infrastructure. *Ugol'*, 2019, (11), pp. 59-63. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-59-63.
3. Abdrakhimova E.S., Kairakbaev A.K. & Abdrakhimov V.Z. Bottom-ash material application in interschistic clay – based thermal insulation materials production. *Ugol'*, 2016, (10), pp. 74-78. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2016-10-74-78.
4. Abdrakhimova E.S., Kairakbaev A.K. & Abdrakhimov V.Z. Coal concentration wastes utilization in ceramic materials production – present-day priorities for environment friendly economics development. *Ugol'*, 2017, (2), pp. 54-57. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2017-2-54-57.
5. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimova I.D. Investigation of thermal conductivity of lightweight materials from energy industry wastes without the use of natural traditional materials. *Ugol'*, 2016, (4), pp. 72-75. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2016-4-72-75.
6. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimova I.D. Getting insulating material based on liquid glass and coal conversion wastes generated during coking coals preparation. *Ugol'*, 2017, (4), pp. 64-67. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2017-4-64-67.
7. Kairakbaev A.K. & Abdrakhimov V.Z. Effect of ash and slag material from “Aktobe thermal power plant” JSC on ultimate shear stress during brick drying. *Ugol'*, 2020, (3), pp. 76-81. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-3-76-81.
8. Safronov Ye.G., Sunteev A.N., Korobkova Yu.Yu. & Abdrakhimov V.Z. Environmental, economic and practical aspects of the use of large-tonnage waste of fuel and energy complex – shale ash in the production of porous filler. *Ugol'*, 2019, (4), pp. 40-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-44-49.
9. Abdrakhimov V.Z. Environmental system damage mitigation due to interschistic clay and bottom-ash material application in lightweight brick and porous aggregate production. *Ugol'*, 2018, (10), pp. 77-83. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-77-83.
10. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z. & Abdrakhimova E.S. The use of ash material of East Kazakhstan in the production of porous aggregate on the basis of liquid-glass compositions. *Ugol'*, 2019, (1), pp. 70-73. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-1-70-73.
11. Abdrakhimov V.Z. Improving environmental safety through the use of ash and slag material and spent catalyst in the production of ceramic bricks based on beidellite clay. *Biological compatibility: man, region, technology*, 2019, (2), pp. 35-42. (In Russ.).
12. Abdrakhimov V.Z. Recycling of fuel and energy complex waste in the production of lightweight bricks based on clay materials of various min-

- eral composition. *Ecology of industrial production*, 2020, (1), pp. 10-16. (In Russ.).
13. Abdrakhimova E.S. Education ash light fraction and its use in the manufacture of tiles for floors. *Ugol'*, 2019, (11), pp. 64-66. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-64-66.
14. Togzhanov I.A., Saybulatov S.Zh., Cherdobayev A.Sh. & Abdrakhimov V.Z. Formation of a porous structure of ceramic material from the clay part of the “tails” of gravity of zircon-ilmenite ores. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 1989, Vol. 25 (3), pp. 874-875. (In Russ.).
15. Abdrakhimov V.Z., Kairakbaev A.K. & Abdrakhimova E.S. Use of waste from non-ferrous metallurgy and energy of East Kazakhstan in the production of clinker bricks. *Ecology and industry of Russia*, 2020, Vol. 24 (3), pp. 14-18. (In Russ.).
16. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z. & Abdrakhimova E.S. Getting tiles for floors based on ash light fraction and clay part of “tails” of gravity zircon-ilmenite ores. *Ugol'*, 2019, (6), pp. 78-81. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-6-78-81.
17. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov D.V. & Abdrakhimov A.V. Clay part of gravity “tails” of zircon-ilmenite ores – raw materials for production of ceramic materials. *Ogneupori i tekhnicheskaya keramika*, 2005, (5), pp. 38-42. (In Russ.).
18. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimov V.Z. Use of Nonferrous Metallurgy Waste: Clayey Portion of the Zircon-Ilmenite Ore Gravity Tailings and Pyrite Cinders in Tile-Making / *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2020, Vol. 989, pp. 47-53.
19. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimov V.Z. The use of enrichment waste from non-ferrous and ferrous metallurgy of Kazakhstan in the production of ceramic materials. *Ecology and Industry of Russia*, 2019, Vol. 23 (6), pp. 12-16. (In Russ.).
20. Kairakbaev A.K. & Abdrakhimov V.Z. Rheological Properties of Ceramic Bodies and the Physical-Mechanical Indices of Acid-Resistant Materials Based on Nano-Technogenic Wastes from Petroleum Chemistry and Non-Ferrous Metallurgy and on Pyrophyllite. *Glass and Ceramics*, 2018, Vol. 75 (7-8), pp. 308-313.
21. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z. & Abdrakhimova E.S. Synthesis of Composite Heat-Insulating Material Based on Liquid Glass and Salt Wastes from Aluminum Production. *Glass and Ceramics*, 2018, Vol. 75 (3-4), pp. 108-111.
22. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimov V.Z. Effect of Different Coal-Enrichment Wastes on the Physical and Mechanical Properties and Phase Composition of Heat-Insulation Materials. *Glass and Ceramics*, 2017, Vol. 74 (1-2), pp. 55-59.
23. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimov V.Z. Linear Thermal Expansion Coefficient of Ceramic Material Based on Non-Ferrous Metallurgy Wastes and Glaze and its Formation Mechanism During Firing. *Glass and Ceramics*, 2020, Vol. 76 (9-10), pp. 1-5.

Acknowledgements

This work was carried out as part of the implementation of a scientific and technical project approved for grant funding for 2018-2020 by the National Scientific Council of the Republic of Kazakhstan in the direction of science “Rational use of natural resources, including water resources, geology, processing, new materials and technologies, safe products and designs”. Grant financing agreement No. 177 of March 15, 2018, IRN 05131501.

For citation

Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Studies of the influence of the light fraction ash content on the microporosity of ceramics by diffuse small angle scattering. *Ugol'*, 2021, (1), pp. 50-55. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-1-50-55.

Paper info

Received July 10, 2020
 Reviewed August 13, 2020
 Accepted December 11, 2020