

УДК: 691.666.43.532
DOI: 10.52409/20731523_2023_2_40
EDN: CYJBBS



Рециклинг межсланцевой глины и шлака от выплавки ферротитана в производство клинкерного кирпича

В.З. Абдрахимов¹

¹Самарский государственный экономический университет
Самара. Российская Федерация

Аннотация. Постановка задачи. С учетом истощения запасов и дефицита природного традиционного алюмосиликатного кондиционного сырья для изготовления высокообжиговых (более 1200°C) керамических материалов, необходимо изыскать и исследовать отходы производств взамен традиционного сырья. Передовые западные страны показали такой опыт, параллельно используя его как инструментарий по защите окружающей среды от различных последствий негативного характера. **Целью работы** является получение клинкерного кирпича с повышенными физико-механическими показателями. **Задачами исследования** являются изучение возможности использования техногенного сырья, разработка составов для получения клинкерного кирпича, исследование влияния шлака от выплавки ферротитана на физико-механические показатели клинкерного кирпича на основе межсланцевой глины.

Результаты. В статье показано, что получить кирпич клинкерный только из межсланцевой глины без использования алюмосодержащего ($Al_2O_3 > 70\%$) шлака от выплавки ферротитана недостижимо. Введение в межсланцевую глину шлака от выплавки ферротитана способствует получению клинкерного кирпича с высокими физико-механическими показателями.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли и для экологии состоит в том, что использование техногенного сырья (отходов производств) позволяет получить клинкерный кирпич без потребления природного традиционного сырьевого материала, расширяет сырьевую базу для создания керамических материалов строительного направления и способствует решению экологических вопросов за счет утилизации отходов.

Ключевые слова: межсланцевая глина, шлак от выплавки ферротитана, клинкерный кирпич, рециклинг, физико-механические показатели.

Для цитирования: Абдрахимов В.З. Рециклинг межсланцевой глины и шлака от выплавки ферротитана в производство клинкерного кирпича // Известия КГАСУ 2023 №. 2(64) с.40-49, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_40, EDN: CYJBBS

Recycling of inter-shale clay and slag from ferrotitanium smelting into clinker brick production

V.Z. Abdrakhimov¹

¹Samara State University of Economics
Samara. Russian Federation

Abstract: Problem statement. Considering the depletion of reserves and the shortage of natural traditional aluminosilicate conditioned raw materials for the manufacture of high-burning (more than 1200°C) ceramic materials, it is necessary to find and investigate production waste instead of traditional raw materials. Advanced Western countries have shown this experience, and they also used it as a tool to protect the environment from various negative consequences. The aim of the work is to obtain clinker bricks with improved physical and mechanical properties. The

objectives of the research are to study the possibility of using technogenic raw materials, the development of compositions for the production of clinker bricks, and to study the effect of slag from the smelting of ferrotitanium on the physical and mechanical properties of clinker bricks based on intershale clay. **Results.** The article shows that it is possible to obtain a clinker brick based on intershale clay without the use of aluminum-containing ($Al_2O_3 > 70\%$) slag from ferrotitanium smelting. The introduction of slag from ferrotitanium smelting into the compositions of ceramic masses contributes to the production of clinker bricks with high physical and mechanical properties. **Conclusions.** The significance of the results obtained for the construction industry and for the environment is that the use of man-made raw materials (industrial waste) makes it possible to obtain clinker bricks without the use of traditional natural raw materials, expands the raw material base for the production of building materials and promotes waste disposal.

Keywords: inter-shale clay, slag from ferrotitanium smelting, clinker brick, recycling, physical and mechanical parameters.

For citation: Abdrakhimov V.Z. Recycling of inter-shale clay and slag from ferrotitanium smelting into clinker brick production // News KSUAE 2023 № 2 (64), p.40-49, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_40, EDN: CYJBBS

1. Введение

Экологическая ситуация. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), топливно-энергетический комплекс (ТЭК), к которому относится, изучаемая в настоящей работе – межсланцевая глина, занимает первое место по степени загрязнения окружающей среды, металлургическая промышленность, к которой относится шлак от выплавки ферротитана – второе место, а в самой металлургической отрасли доминирует цветная металлургия, за которой следует чёрная.

Таким образом, данные Росстата показали, что главными отходообразующими сегментами экономики стали в России ТЭК, доля которой составляет в районе 57% (2,8 млрд. т) техногенного сырья совместно с добычей, агломерацией и обогащением; цветная металлургия – 15% (740 млн. т) совместно с добычей, обогатительными фабриками, добычей ториевых и урановых руд, и переработкой различных цветных металлов; чёрная металлургия – 11% (535 млн. т) также и включая переработку и обогащение железных руд [1-3].

За последние несколько десятилетий огромные объёмы техногенного сырья образовались в «хвостохранилищах», шламонакопителях, золошлакоотвалах различных тепловых электростанциях (ТЭС), полигонах и т.д., что в конечном итоге может привести к кризису [2-4]. Такая экологическая проблема XXI века скорее всего станет кризисом редуцентов, когда они уже будут не в состоянии разлагать значительно увеличивающиеся объёмы отходов, особенно произведенное человечеством количество техногенного сырья, которое не имеет в природе аналогов по химическому составу [5]. Следует отметить, что и микроорганизмов для утилизации вновь образовавшегося техногенного сырья и расщепление их в исходные химические элементы также недостаточно [6, 7].

Применение крупнотоннажного техногенного сырья ТЭК и металлургии в производстве массовых керамических стеновых материалов будет способствовать утилизации техногенного сырья (производственные отходы), расширит сырьевую основу для керамических изделий и внесет большой вклад в экологию государства.

Теоретической основой для разработки основных направлений по использованию отходов производств и созданию безотходных технологий в настоящее время является комплексное материаловедение. Комплексное материаловедение – это когда связи, относящиеся к корреляционным, представлены в триаде, которая состоит из: а) структуры; б) вещественного состава; в) характеристик.

В настоящее время практически отсутствует финансирование на геологоразведочные изыскания сырьевых материалов для получения массовых керамических материалов, поэтому актуальными становятся вопросы по замене

традиционного природного сырья на техногенные отходы металлургии [8, 9]. Использование техногенного сырья для выпуска кирпича клинкерного предоставит возможность изъять работы геологоразведочные, строительные по благоустройству карьеров, их эксплуатации и содержанию. При этом необходимо отметить, что большая часть земельных территорий значительно очистится от влияния факторов негативного характера.

Для защиты окружающей среды в директиве ЕС 2008/98/ЕС указано, что в этом случае будет эффективна именно переработка техногенного сырья с целью их вторичного применения в новом каком-либо продукте необходимом для общества [10].

Клинкерный кирпич - это долговечное неестественное каменное фиксированной формы изделие, произведенное из подобранного керамического состава, состоящего из глинистого связующего и отощителя, обработанное при температурах от 1350 до 2500°C. Имеет невысокую пористость, но повышенную плотность, эксплуатация его допускается практически в любых погодных условиях (от низкой до аномально высокой температуры). Термообработанное изделие не должно иметь поверхностного остекловывания и иметь водопоглощение в пределах 0,5-6% [11, 12].

Клинкерные материалы, термообработанные до водопоглощения менее 6%, квалифицируются как материалы каменные с черепком грубым, обладают отличительной особенностью от таких изделий, как кирпич обыкновенный, черепица и т.д., кроме низкого водопоглощения еще и высокой прочностью, и морозостойкостью [13-15].

Кирпич клинкерный можно использовать как стеновой облицовочный материал, так как фасад здания приобретает в этом случае более насыщенный и выразительный вид. С учетом повторяющихся попеременных устраниений дефектов, реставраций, обновлений поверхности стены, а возможно и ее реконструкций – стоимость стены из кирпича клинкерного в 2-4 раза дешевле, чем из глиняного обыкновенного кирпича.

Высокие показатели клинкерному кирпичу придает плотная без разнообразных пустот, каверн, крупных включений и сама структура, которая относится к микроструктурной. Ряд работ [13-15] показывают, что именно плотная структура и фазовый состав придают клинкерному кирпичу высокие эксплуатационные показатели.

С учетом истощения запасов и дефицита природного традиционного алюмосиликатного кондиционного сырья для изготовления высокообжиговых (более 1200°C) керамических материалов необходимо изыскать и исследовать взамен традиционного сырья отходы производств. Передовые западные страны такой опыт показали, причем еще и использовали его как инструментальный по защите окружающей среды от различных последствий негативного характера.

Целью работы является получение клинкерного кирпича с повышенными физико-механическими показателями.

Объектом исследований являются техногенные материалы: отход топливно-энергетического комплекса (горючие сланцы) – межсланцевая глина, отход металлургии - шлак от выплавки ферротитана и полученный клинкерный материал на основе отходов производств без применения традиционных природных материалов.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучение возможности использования техногенного сырья
- разработка составов для получения клинкерного кирпича
- исследование влияние шлака от выплавки ферротитана на физико-механические показатели клинкерного кирпича на основе межсланцевой глины

2. Материалы и методы

В настоящей работе применялись для исследования сырьевых компонентов и полученных образцов современные методы тонкого химического анализа: для поэлементного анализа – микроскоп электронный растровый JSM 6390A японский фирмы Jeol; анализ петрографический с использованием прозрачных аншлифов и шлифов с применением микроскопа МИН-8 и МИН-7 и иммерсионных жидкостей. В соответствии с разработанной и утвержденной методикой СамГТУ «Методические указания по исследованию и определению химических составов порошковых и твердых тел с использованием рентгеновского энергодисперсионного спектрометра в составе

растрового электронного микроскопа» по определению различных свойств сырьевых материалов. Для определения технических показателей использовался ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камни керамические», в котором было указано, что водопоглощение должно быть не более 6%, кислотостойкость не менее 95%, а морозостойкость не ниже 75 циклов померенного замораживания и оттаивания.

Процессы структурообразования в клинкерных материалах, полученных на основе техногенного сырья без применения природных традиционных материалов заметно отличаются от подобных процессов, совершающихся при использовании традиционного природного сырья. Такие отличия вызваны наложением добавочных эффектов на изученные, поэтому чрезвычайно осложняют изучение новых материалов и требуют более подробного исследования отходов производств.

Для получения кирпича клинкерного в качестве глинистого компонента использовалась — межсланцевая глина, а в качестве отощителя - шлак от выплавки ферротитана. Химические составы: оксидный и поэлементный используемых отходов производств представлены в табл. 1 и 2, электронное фото на рис.1, фракционный (гранулометрический) состав в табл. 3, а минералогический состав на рис. 2.

Таблица 1

Усредненный оксидный химический состав сырьевых материалов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
Межсланцевая глина	45,4	13,87	5,6	11,3	2,3	3,5	18,03
Шлак от выплавки ферротитана	1,82	72,13	0,3	14,52	7,72	3,51	

Таблица 2

Поэлементный химический состав сырьевых материалов

Компонент	Содержание элементов, мас. %								
	C	O	Na	Mg	Al+Ti	Si	K	Ca	Fe
Межсланцевая глина	5,73	52,85	0,46	1,04	7,20	18,66	1,75	10,53	3,35
Шлак от выплавки ферротитана	–	35,08	2,35	5,68	36,48+6,3	1,28	0,89	11,78	0,23

а)

б)

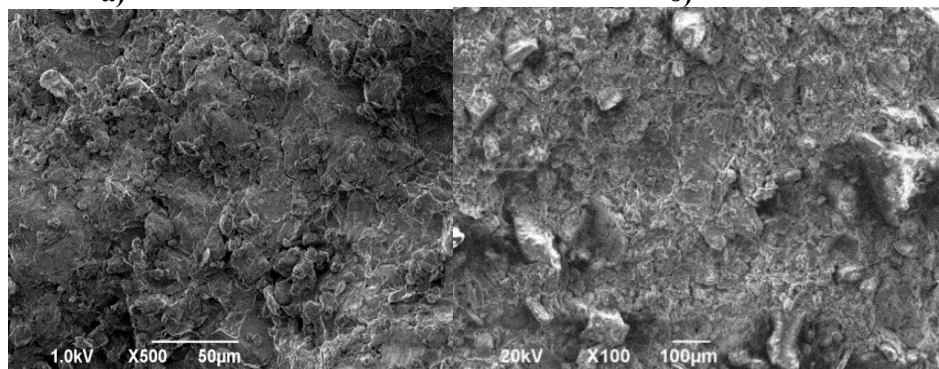


Рис. 1 – Микроструктура исследуемых сырьевых материалов:

а) межсланцевая глина; б) – шлак от выплавки ферротитана. Увеличение: а) x500; б) X100 (иллюстрация авторов)

Figure 1 – Microstructure of the raw materials under study: a) shale clay; b) slag from ferrotitanite smelting. Magnification: a) x500; b) X100 (illustration by the authors)

Таблица 3

Компонент	Фракционный состав сырьевых материалов				
	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,063	0,063-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
Межсланцевая глина	7	10	13	15	55
Шлак от выплавки ферротитана	10,83	25,43	25,52	12,85	25,37

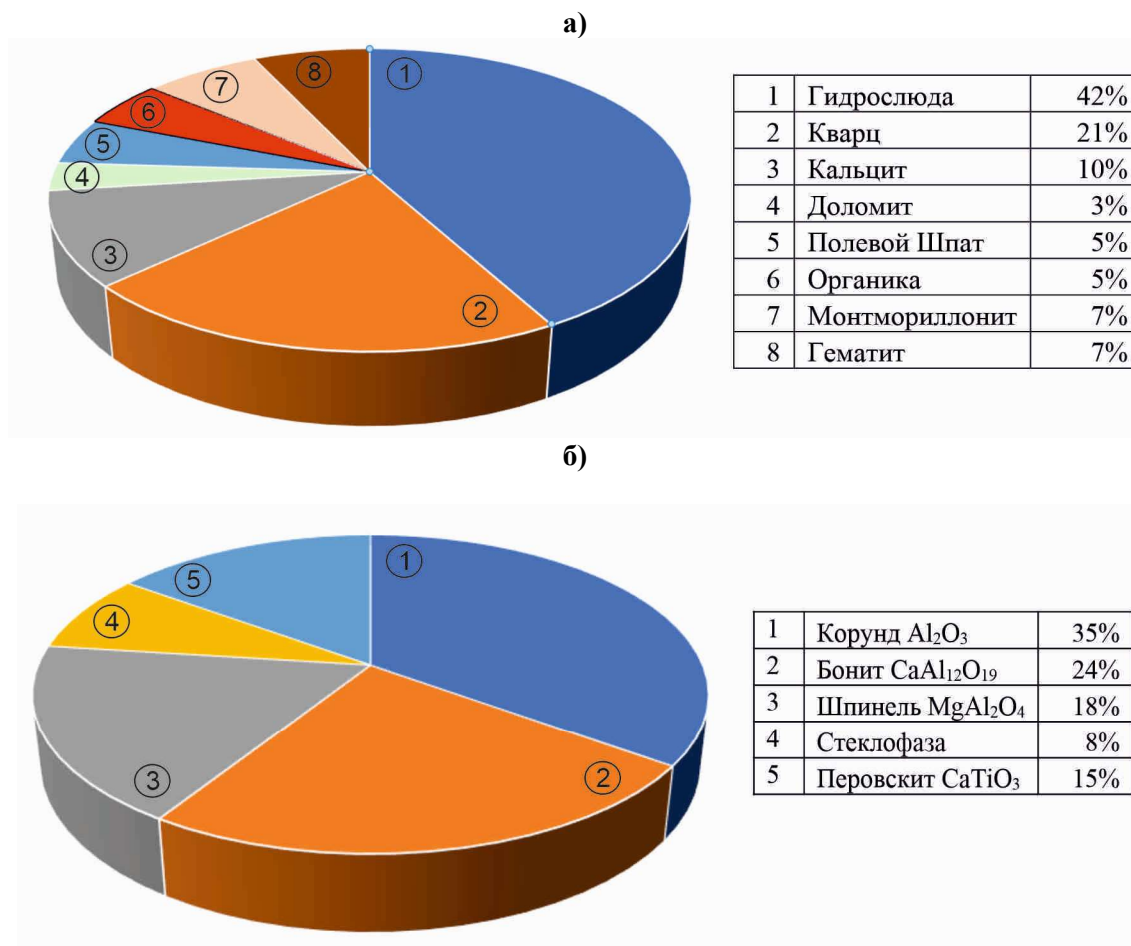


Рис. 2 – Минералогический состав отходов производств: а) –Межсланцевая глина; б) Шлак от выплавки ферротитана (иллюстрация авторов)
 Figure 2 – Mineralogical composition of industrial waste: a) – GCI; b) Slag from ferrotitanium smelting (illustration by the authors)

Межсланцевая глина. Исследуемый связующий компонент формируется при добывании в шахтах горючих сланцев (или при утилизации на сланцеперерабатывающих заводах межсланцевой глины), поэтому межсланцевая глина типизируется как техногенное сырье горючих сланцев. Межсланцевая глина классифицируется по числу пластичности как к среднепластичное глинистое сырье (число пластичности 18-24) с истинной плотностью 2,55-2,62 г/см³. Химический усредненный оксидный состав исследуемого компонента (табл. 1) диагностировал незначительное количество оксида алюминия (Al_2O_3 <15%) и повышенное количество оксида железа (Fe_2O_3 >5%) а представленный в табл. 3, гранулометрический (фракционный) состав показал, что исследуемое техногенное сырье относится к группе дисперсного глинистого сырья. Глинистые минералы в межсланцевой глине в основном представлены гидрослюдой (рис. 2) и частично монтмориллонитом, которые образуется в виде лепестков (рис. 1).

Шлак от выплавки ферротитана. Фундаментальным отличием шлака от выплавки ферротитана от практически всех аналогичных шлаков цветной и черной металлургии, химической промышленности и теплоэнергетики является то, что химическая основа изучаемого шлака – это глинозем, среднее содержание которого не менее 70 % масс, содержание MgO - более 7%, CaO – более 12%, а количество SiO₂ не превышает 2–3 % масс (табл. 1). Поэтому состав шлака от выплавки ферротитана может быть описан трехкомпонентной системой MgO–CaO–Al₂O₃ [16]. В легированных сталях ферротитан используют для раскисления. Использование в составах керамических масс шлака позволит значительно повысить термостойкость и кислотостойкость кислотоупоров за счет повышенного содержания в нем Al₂O₃ [5].

Получение клинкерного кирпича. Приготавливали керамическую массу (шихту) из составов, представленных в табл. 4, при влажности 22-24 % пластическим способом. Формовали кирпич размером 120X120X60 мм, которые высушивали до остаточной влажности 5%, полученный кирпич-сырец обжигали при температурах 1250°C и 1300°C.

Таблица 4

Составы экспериментальных масс			
Компонент	Содержание компонентов, мас. %		
	1	2	3
1. Межсланцевая глина	100	60	50
2. Шлак от выплавки ферротитана	–	40	50
Характеристики керамической шихты и кирпиче-сырца			
Пластичность шихты	20	14	10
Усадка высушенного кирпича-сырца в течение 12 часов при 40°C, %	5,8	4,8	4,0
Время сушки кирпича (до постоянной усадки) в интервале температур 100-120°C, час	6,5	2,8	1,7

3. Результаты и обсуждение

В табл. 5 – представлены технические показатели клинкерного кирпича, обожжённого при температурах 1250°C и 1300°C.

Таблица 5

Физико-механические показатели клинкерного кирпича			
Показатели	Составы		
	1	2	3
Температура обжига. 1250° С			
1. Водопоглощение, %	6,5	5,2	4,8
2. Кислотостойкость, %	91,4	96,87	97,7
3. Предел прочности при сжатии, МПа	34,2	60,1	59,8
4. Предел прочности при статическом изгибе, МПа	26,2	28,3	25,8
5. Морозостойкость, циклы	18	79	78
6. Термическая стойкость, теплосмены	1	6	8
Температура обжига. 1300°С			
1. Водопоглощение, %	5,4	3,5	3,8
2. Кислотостойкость, %	93,4	97,4	97,7
3. Предел прочности при сжатии, МПа	41,5	65,3	65,1
4. Предел прочности при статическом изгибе, МПа	27,7	37,8	36,7
5. Морозостойкость, циклы	23	86	83
6. Термическая стойкость, теплосмены	2	8	9

Как видно из табл. 5 образцы из состава №1 не соответствуют требованию ГОСТа по кислотостойкости и морозостойкости, обработке при температурах 1250-1300°C, а по водопоглощению соответствуют только при температуре обжига 1300°C. Таким образом

межсланцевая глина не пригодна для производства клинкерного кирпича как самостоятельное сырье, так как имеет повышенное содержание оксида железа ($Fe_2O_3 > 5\%$, табл. 1). В работах [17-19] было показано, что повышенное содержание оксида железа ($Fe_2O_3 > 5\%$) снижает кислотостойкость и термостойкость.

Введение в составы керамических масс шлака от выплавки ферротитана повышает кислотостойкость, термостойкость, морозостойкость и прочность, так как содержит повышенные количества оксида алюминия ($Al_2O_3 > 70\%$, табл. 1) [17-19].

Повышение температуры обжига до $1300^\circ C$ значительно повышает все физико-механические показатели, причем увеличение содержания в состав керамических масс содержания шлака от выплавки ферротитана более 40% не улучшает технические показатели клинкерного кирпича. Таким образом, оптимальным составом будет состав №2 (табл. 5)

Под оптимальным содержанием шлака от выплавки ферротитана в настоящей работе принимается такое его количество, при котором число пластичности керамической массы (шихты) снижается с 20 до 10 (табл. 4), так как при меньшем числе пластичности шихты на изделиях при формовании появляются трещины.

Электронно-микроскопические фото исследуемых составов №1 и №2: представлены на рис. 3, состав №1 без применения шлака от выплавки ферротитана взят для сравнения, а состав №2 – это оптимальный состав, содержащий 40% шлака от выплавки ферротитана.

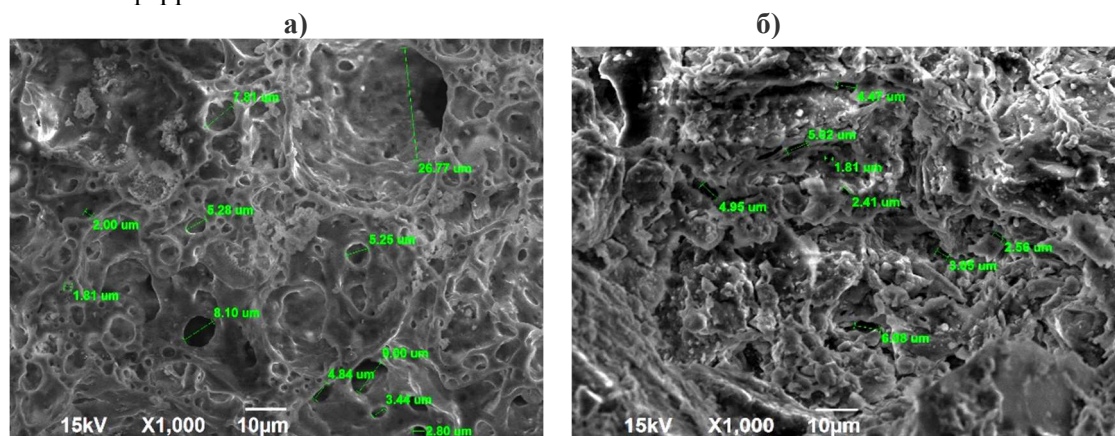


Рис. 3 – Микроструктура исследуемых образцов различных составов:
 а) – состав №1; б) – состав №2. Увеличение: а) и б) X1000 (иллюстрация авторов)
 Figure 3 – Microstructure of the studied raw materials: a) interstitial clay; b) slag from ferrotitanite smelting. Magnification: a) x500; b) X100 (illustration by the authors)

Неоднородность керамического материала, следовательно, наличие пор, не способствуют повышению прочности и морозостойкости клинкерного кирпича. В работах [20-23] проведенные исследования показали, что в керамических стеновых материалах в основном интенсивнее всего встречаются три категории пор: щелеобразные, равномерные (изометрические) и поры овальной формы, что подтверждается и представленными исследованиями (рис. 3 а и б). Изометрические поры встречаются в виде «каналов».

Наличие пор, а, следовательно, неоднородности материала, неблагоприятно сказываются на свойствах керамических изделий, причем вредное влияние на механическую прочность вытянутых (щелевидных) пор оценивается приблизительно в 5 раз больше, чем округлых [20]. Кроме того, присутствие щелеобразных пор демонстрирует, что процессы спекания не завершились. Представленные исследования показывают, что в образцах оптимального состава (рис. 3, б) поры представлены в основном овальной (округлой) формы, а в образцах состава №1 больше щелевидных (рис. 3, а). Причем в образцах состава №1 присутствуют более крупные поры размером: 7,87; 8,10; 9,00; 26,77 μm , а в образцах оптимального состава поры не превышают размера 6,08 μm (рис. 3, б).

4. Заключение

1. Установлено, что выпуск клинкерного кирпича без алюмосодержащего отощителя только используя межсланцевую глину недостижимо, так как полученное изделие не будет соответствовать требованиям ГОСТа даже при термообработке 1250-1300°C.

2. Выявлено, что фундаментальным отличием шлака от выплавки ферротитана от аналогичных шлаков является то, что химическая основа изучаемого шлака – это глинозем, среднее содержание которого не менее 70 % масс, содержание MgO - более 7%, CaO – более 12%, а количество SiO₂ не превышает 2–3 % масс. Поэтому состав шлака от выплавки ферротитана вероятно поддается описанию формулой трехкомпонентной системой MgO–CaO–Al₂O.

3. Исследования показали, что введение в межсланцевую глину алюмосодержащего шлака повышает кислотостойкость, термостойкость, морозостойкость и прочность, так как шлак содержит повышенные количества оксида алюминия (Al₂O₃>70%).

Список литературы / References

1. Волынкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. №2. С. 43-49. [Volynkina E.P. Analysis of the state and problems of processing technogenic waste in Russia // Bulletin of the Siberian State Industrial University. 2017. No.2. P. 43-49]

2. Романов П.С., Романова И.П. Рециклинг отходов металлургической промышленности как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности / Синергия. 2016. №2. С. 94-99. [Romanov P.S., Romanova I.P. Recycling of metallurgical industry waste as a way to save natural resources and reduce environmental tensions // Synergy. 2016. No. 2. P. 94-99]

3. Романова И.П., Бегунов О.Б. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности // Территория науки. 2016. №2. С. 53-57. [Romanova I.P., Begunov O.B. The use of waste from the metallurgical industry in the construction industry as a way to save natural resources and reduce environmental stress // The territory of science. 2016. No.2. P. 53-57]

4. Бутин В.М., Мыска С.Ю. Направления развития системы переработки расходов промышленно производственных подсистем АРК // Территория науки. 2015. №6. С. 91-97. [Butin V.M., Myska S.Yu. Directions of development of the system of processing expenses of industrial production subsystems of the ARC // Territory of Science. 2015. No. 6. P. 91-97]

5. Абдрахимова Е.С. Рециклинг шлака от выплавки ферротитана в производство сейсмостойкого кирпича на основе бейделлитовой глины // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. №7. С. 32-36. DOI: [10.18412/1816-0395-2021-7-32-36](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-7-32-36). [Abdrakhimova E.S. Recycling of slag from ferrotitanium smelting into the production of earthquake-resistant bricks based on beidellite clay // Ecology and industry of Russia. 2021. Vol. 25. No. 7. P. 32-36. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-7-32-36]

6. Кальнер В.Д. Экологически ориентированная среда обитания -интегральный критерий качества жизни// Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. №11. С. 50-54. [Kalner V.D. Ecologically oriented habitat - an integral criterion of quality of life// Ecology and industry of Russia. 2019. Vol. 23. No. 11. P. 50-54]

7. Кряжев А.М. Гусев Т.В., Тихонова И.О., Очеретенко Д.П., Алмгрен Р. Целлюлозно-бумажное производство: устойчивое развитие и формирование экономики замкнутого цикла. Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. №11. С. 48-53. [Kryazhev A.M. Gusev T.V., Tikhonova I.O., Ocheretenko D.P., Almgren R. Pulp and paper production: sustainable development and the formation of a closed-cycle economy. Ecology and industry of Russia. 2020. Vol. 24. No. 11. P. 48-53]

8. Дадыкин В.С., Дадыкина О.В. Методика расчета необходимого прироста запасов в управлении воспроизводством минерально-сырьевой базы. // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2019. №3. С. 54-57.

[Dadykin V.S., Dadykina O.V. Methodology for calculating the necessary increase in reserves in the management of reproduction of the mineral resource base. // Bulletin of Samara State University of Economics. 2019. No.3. P. 54-57]

9. Абдрахимова В.З., Абдрахимова Е.С. Пористый наполнитель на основе аспирационной пыли от феррохрома и жидкостекольной композиции // Экология промышленного производства. 2023. №1. С. 3-6. DOI: 10.52190/2073-2589_2023_1_. 2. [Abdrakhimova V.Z., Abdrakhimova E.S. Porous filler based on aspiration dust from ferrochrome and liquid glass composition // Ecology of industrial production. 2023. No.1. P. 3-6. DOI: 10.52190/2073-2589_2023_1_2]

10. Дубовик О.Л. Реформа Европейского Законодательства об отходах // Российское право: образование, практика, наука. 2010. №5-6. С. 80-84. [Dubovik O.L. Reform of the European Legislation on waste // Russian law: education, practice, science. 2010. №5-6. P. 80-84]

11. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Котляр А.В. Особенности свойств, применение и требования к клинкерному кирпичу // Строительные материалы. 2015. №4. С. 72-74. [Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. Features of properties, application and requirements for clinker brick // Building materials. 2015. No. 4. P. 72-74]

12. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Получение клинкерных керамических изделий из отходов производства цветной металлургии и алюмосодержащего техногенного сырья // Перспективные материалы. 2018. №3. С. 49-56. [Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Production of clinker ceramic products from non-ferrous metallurgy production waste and aluminum-containing technogenic raw materials // Perspective Materials. 2018. No. 3. P. 49-56.]

13. Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Влияние высокоглиноземистых нанотехногенных отходов нефтехимии на термостойкость клинкерного кирпича // Стекло и керамика, 2015. №9. С. 32-38. [Kairakbayev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. The influence of high-alumina nanotechnogenic waste of petrochemistry on the heat resistance of clinker bricks // Glass and ceramics, 2015. No. 9. P. 32-38]

14. Куликов В.А., Абдрахимов В.З., Ковков И.В. Использование необогащенного каолина и алюминийсодержащего техногенного сырья в производстве клинкерных керамических материалов // Башкирский химический журнал. 2010. Том 17. №4. С. 54.-56. [Kulikov V.A., Abdrakhimov V.Z., Kovkov I.V. The use of non-enriched kaolin and aluminum-containing technogenic raw materials in the production of clinker ceramic materials // Bashkir Chemical Journal. 2010. Volume 17. No. 4. P. 54.-56]

15. Ковков И.В., Куликов В.А., Абдрахимов В.З. Клинкерный кирпич на основе необогащенного каолина и шлама щелочного травления // Стекло и керамика. 2011. № 1. С. 21-23. [Kovkov I.V., Kulikov V.A., Abdrakhimov V.Z. Clinker brick based on non-enriched kaolin and alkaline etching sludge // Glass and ceramics. 2011. No. 1. P. 21-23]

16. Рывтин В. М., Перепелицын В.А., Понамаренко А.А., Гильванг С.И. Феррохромовые алюминотермические шлаки – техногенное сырье многофункционального применения. Часть 1. Вещественный состав и свойства феррохромовых шлаков. // Новые огнеупоры. 2017.- №10. С. 8-14. [Rytvin V. M., Perepelitsyn V.A., Ponomarenko A.A., Gilvang S.I. Ferrochrome aluminothermal slags are technogenic raw materials for multifunctional use. Part 1. The material composition and properties of ferrochrome slags. // New refractories. 2017.- No.10. P. 8-14]

17. Рыщенко А.С., Рыщенко Т.Д., Питак Я.Н. Муллитокорундовые огнеупоры на основе синтезированного высокоглиноземистого шамота. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. №6. С. 64-68. [Ryshchenko A.S., Ryshchenko T.D., Pitak Ya.N. Mullite-corundum refractories based on synthesized high-alumina chamotte. // Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2011. No.6. P. 64-68]

18. Астапова Е.С., Ванина Е.А., Голубева И.А. Влияние изотермического отжига на механические свойства и микроструктуру высокоглиноземистой керамики // Физика и химия обработки материалов. 2007. №3. С 28-32. [Astapova E.S., Vanina E.A., Golubeva I.A. Influence of isothermal annealing on mechanical properties and microstructure of high-alumina ceramics // Physics and Chemistry of Materials Processing. 2007. No. 3. P. 28-32]

19. Тюлькин Д. С., Плетнев П.М. Характеристики отечественного сырья для производства термостойких высокотемпературных корундомуллитовых огнеупоров // Сборник научных трудов Международной конференции «СТРОЙСИБ 2016»: Ресурсы и ресурсосберегающие технологии в материаловедении. – Новосибирск, 2016 – С. 204–209. [Tyulkin D. S., Pletnev P.M. Characteristics of domestic raw materials for the production of heat-resistant high-temperature corundomullite refractories // Collection of scientific papers of the International conference "STROYSIB 2016": Resources and resource-saving technologies in materials science. – Novosibirsk, 2016 P. 204-209]

20. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. М.: Стройиздат. 1977. 272 с. [Pavlov V.F. Physical and chemical bases of firing of building ceramics products. M.: Stroyizdat. 1977. 272 p.]

21. Bulanov P.E., Vdovin E.A., Mavliev L.F., Kuznetsov D.A. Development of road soil cement compositions modified with complex additive based on polycarboxylic ether // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327 (2018) 032014 doi:10.1088/1757-899X/327/3/032014

22. Богданов А.Н., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г Модификация керамических масс пластифицирующими добавками. В сборнике: Научные технологии и инновации. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2014. С. 46-49. [Bogdanov A.N., Abdrakhmanova L.A., Khozin V.G. Modification of ceramic masses with plasticizing additives. In the collection: High-tech technologies and innovations. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2014. P. 46-49.]

23. Богданов А.Н., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г Модификация кирпичных суглинков углеродными нанотрубками для выпуска стеновой керамики // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 14-17. [Bogdanov A.N., Abdrakhmanova L.A., Khozin V.G. Modification of brick loams with carbon nanotubes for the production of wall ceramics//Construction materials. 2017. № 9. P. 14-17]

Информация об авторах

Абдрахимов Владимир Закирович, докт.техн. наук, профессор, Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Российская Федерация
Email: 3375892@mail.ru

Information about the authors

Abdrakhimov Vladimir Zakirovich, doctor of technical sciences, professor, Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation
Email: 3375892@mail.ru