



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 12, № 4, 2021

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2021.4.07

УДК 666.774.017.532

ВЛИЯНИЕ ШЛАКА ОТ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ХРОМА НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИСЛОУПОРНЫХ ПЛИТОК

В.З. Абдрахимов¹, Е.С. Абдрахимова²

¹Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

²Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королёва, Самара, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 21 августа 2021
Принята: 29 октября 2021
Опубликована: 28 декабря 2021

Ключевые слова:

кислотоупорные плитки, алюмосодержащий шлак, шамот, физико-механические показатели, корунд, муллит, оксид хрома.

АННОТАЦИЯ

Объект исследования: кислотоупорные плитки, полученные на основе необогащенного каолина и отхода цветной металлургии – шлака от производства металлического хрома. Отходы цветной металлургии по количеству особенно вредных загрязнений занимают второе место после отходов химического производства. Различные загрязнения окружающей среды, например пыль и шлаки, содержащие очень вредные вещества (особенно шестивалентный хром, сурьму, мышьяк, свинец и ртуть), весьма негативно воздействуют на здоровье людей, проживающих в радиусе 50 км от металлургических заводов. Использование крупнотоннажного отхода цветной металлургии – алюмосодержащего шлака от производства металлического хрома – в количестве 40 % позволяет получить кислотоупорные плитки с высокими физико-механическими и химическими показателями при температуре обжига 1300 °С и снизить экологическое напряжение в районе производства цветной металлургии.

Исследования показали, что получение кислотоупорных плиток из необогащённой каолиновой глины, содержащей Al_2O_3 менее 18 %, невозможно даже при температуре обжига 1300 °С. Введение в керамическую массу оптимального количества шамота (40 %) позволяет получить кислотоупорные плитки, соответствующие требованию ГОСТ по физико-механическим показателям при температуре обжига 1300 °С. Использование в керамических составах алюмосодержащего шлака от производства металлического хрома в количестве 40 % (как и шамота) позволяет получить изделия с высокими физико-механическими и химическими показателями при температуре обжига 1250 °С. Введение в составы керамических масс глиноземсодержащего алюмосодержащего шлака от производства металлического хрома способствует образованию корунда. Корунд отличается высокой химической стойкостью по отношению к кислотным и щелочным реагентам. При комнатной температуре на него практически не действует даже HF.

© ПНИПУ

© **Абдрахимов Владимир Закирович** – доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего и профессионального образования, e-mail: 3375892@mail.ru.

Абдрахимова Елена Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: 3375892@mail.ru.

Vladimir Z. Abdrakhimov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: 3375892@mail.ru.

Elena S. Abdrakhimova – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: 3375892@mail.ru.

THE EFFECT OF SLAG FROM THE PRODUCTION OF METALLIC CHROMIUM ON THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF ACID-RESISTANT TILES

V.Z. Abdrakhimov¹, E.S. Abdrakhimova²

¹Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation

²Samara National Research University named after acad. S.P. Korolev University, Samara, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 21 August 2021
Accepted: 29 October 2021
Published: 28 December 2021

Keywords:

acid-resistant tiles, aluminum-containing slag, chamotte, physical and mechanical parameters, corundum, mullite, chromium oxide.

ABSTRACT

Object of research: acid-resistant tiles obtained on the basis of unenriched kaolin and waste of non-ferrous metallurgy – slag from the production of metallic chromium, non-ferrous metallurgy wastes occupy the second place after chemical production waste in terms of the amount of especially harmful various pollutants. Various environmental pollutants, such as dust and slag, containing very harmful substances (especially hexavalent chromium, antimony, arsenic, lead and mercury) have a very negative impact on the health of people living within a radius of 50 km from metallurgical plants. The use of large-tonnage waste of non-ferrous metallurgy – aluminum-containing slag from the production of metallic chromium in an amount of 40 % allows to obtain acid-resistant tiles with high physical, mechanical and chemical parameters at a firing temperature of 1300 °C and reduce environmental stress in the area of non-ferrous metallurgy production.

Studies have shown that it is impossible to obtain acid-resistant tiles from non-enriched kaolin clay containing less than 18 % Al_2O_3 even at a firing temperature of 1300 °C. The introduction of an optimal amount of chamotte (40 %) into the ceramic mass allows to obtain acid-resistant tiles that meet the requirements of GOST for physical and mechanical parameters at a firing temperature of 1300 °C. The use of aluminum-containing slag from the production of metallic chromium in ceramic compositions in an amount of 40 % (as well as chamotte) allows to obtain products with high physical, mechanical and chemical parameters at a firing temperature of 1250 °C. The introduction of alumina-containing aluminum-containing slag from the production of metallic chromium into the compositions of ceramic masses contributes to the formation of corundum. Corundum is characterized by high chemical resistance to acidic and alkaline reagents. At this temperature, even HF practically does not affect it.

© PNRPU

Введение

Второе место после отходов химического производства по количеству различных загрязнений занимают отходы цветной металлургии [1; 2]. Различные загрязнения окружающей среды, например пыль и шлаки, содержащие очень вредные вещества (особенно шестивалентный хром, сурьму, мышьяк, свинец и ртуть), весьма негативно воздействуют на здоровье людей, проживающих в радиусе 50 км от металлургических заводов.

Очень сильным окислителем, который воздействует агрессивно на организм человека, является шестивалентный хром, токсичные действия которого превосходят даже пестициды и радиоактивные вещества. Шестивалентный хром провоцирует ряд болезней наследственного характера и рак.

Главной причиной проблем экологического характера являются загрязнения атмосферы отходящими газами (диоксидом серы, хлоридом водорода, оксидом углерода и другими соединениями, которые являются токсичными) и почвы твердыми выбросами (шлаками, шлаками и т.д.), которые появляются в результате производства цветных металлов.

Загрязненная окружающая среда значительно ухудшает здоровье людей, что приводит к росту аллергической заболеваемости, легких, сердечно-сосудистой системы, которые значительно сокращают продолжительность жизни и приводят к ранней смертности.

В Самарской области есть предприятия, которые создают продукцию из привозного сырья и материалов. Авторы работ [1–3] в качестве примера приводят ОАО «Самарский металлургический завод», который хотя и имеет уникальные технологии, но работает полностью на цветных металлах Сибирских предприятий и других регионах РФ. Как известно, при обработке металлов образуется крупнотоннажное алюмосодержащее техногенное сырье (отходы производства) в виде шламов и шлаков, которые в основном направляются в отвалы. К такому техногенному сырью относится шлак от производства металлического хрома с высоким содержанием оксида алюминия ($Al_2O_3 > 70\%$). Такое техногенное сырьё, как правило, является ценнейшим сырьем для производства кислотоупоров.

Использование такого техногенного сырья в производстве кислотоупорных плиток отвечает требованиям ЕС 2008/98/ЕС, в которых указывается, что для защиты биосферы эффективной утилизацией является использование отходов в новом продукте, необходимым для человека [3].

В настоящее время при изготовлении кислотоупорных изделий в России в составы керамических масс в качестве отощителя используют шамот. Для получения шамота используют дополнительный обжиг ($1200\text{ }^\circ\text{C}$), который является энергозатратным, поэтому в качестве отощителя целесообразно использовать шлак от производства металлического хрома

Цель работы – на основе небогатенного каолина и шлака от производства металлического хрома получить кислотоупорную плитку с высокими техническими показателями.

Методика исследования. Поэлементные химические составы и микроструктуры исследуемых сырьевых материалов, как и в работах [4; 5], определяли с помощью растрового электронного микроскопа JEOL-6390A.

Петрографические исследования проводили с использованием иммерсионных жидкостей, прозрачных шлифов и аншлифов под микроскопами МИН-8 и МИН-7.

Экспериментальная часть

Сырьевые материалы. В качестве связующего для получения кислотоупорных плиток использовался небогатенный каолин Чапаевского месторождения, а в качестве отощителей – шамот из обожженного при $1200\text{ }^\circ\text{C}$ используемого каолина и алюмосодержащий шлак от производства металлического хрома. Химические составы используемых сырьевых компонентов приведены: поэлементный в табл. 1, оксидный в табл. 2, фракционный в табл. 3, а на рис. 1, 2 соответственно показаны микроструктуры и минералогические составы.

Таблица 1

Химический оксидный состав сырьевых компонентов

Table 1

Chemical oxide composition of raw materials

Компонент	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	R ₂ O	П.п.п.
Алюмосодержащий шлак	10,2	72,5	0,8	5,2	–	8,5	3,1	–
Каолин Чапаевского месторождения	65,5	16,2	3,0	3,5	0,8	–	2,5	8,5
Шамот из каолина	69,6	20,3	3,4	3,7	1,1	–	1,9	–

Таблица 2

Поэлементный химический состав сырьевых компонентов

Table 2

Element-by-element chemical composition of raw materials

Компонент	Содержание элементов, мас. %									
	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cr	K	Ca	Fe
Алюмосодержащий шлак	–	58,8	0,8	–	27,3	4,5	3,7	0,7	3,9	0,3
Каолин Чапаевского месторождения	4,2	51,5	0,6	0,9	14,3	24,1	–	0,3	2,1	2,0

Таблица 3

Фракционный состав сырьевых компонентов

Table 3

Fractional composition of raw materials

Компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	> 0,063	0,063–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,0001
Алюмосодержащий шлак	16,8	32,4	32,4	12,6	5,8
Каолин Чапаевского месторождения	10,3	15,2	16,8	20,5	37,2

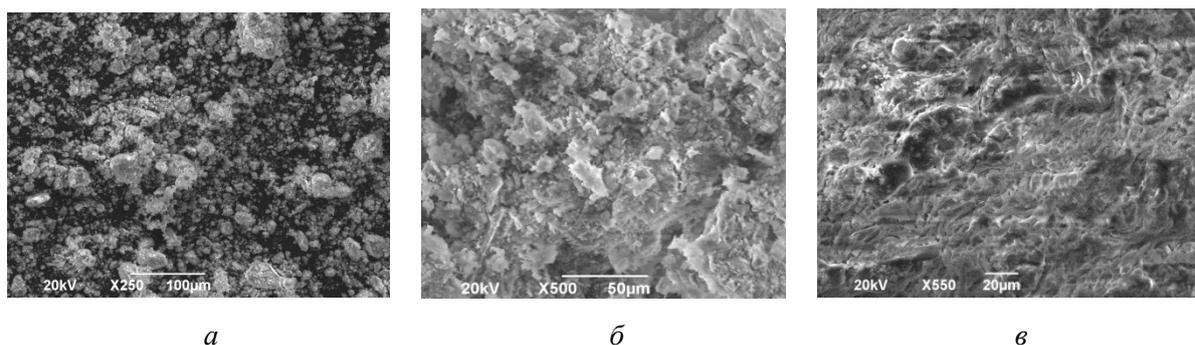


Рис. 1. Микроструктура исследуемых сырьевых материалов: *a* – алюмосодержащий шлак от производства металлического хрома; *б* – каолиновая глина Чапаевского месторождения; *в* – шамот. Увеличение: *a* – $\times 250$, *б* – $\times 500$, *в* – $\times 550$

Fig. 1. Microstructure of the studied raw materials: *a* – aluminum-containing slag from the production of metallic chromium; *б* – kaolin clay of the Chapayevsky deposit; *в* – chamotte. Magnification: *a* – $\times 250$, *б* – $\times 500$, *в* – $\times 550$

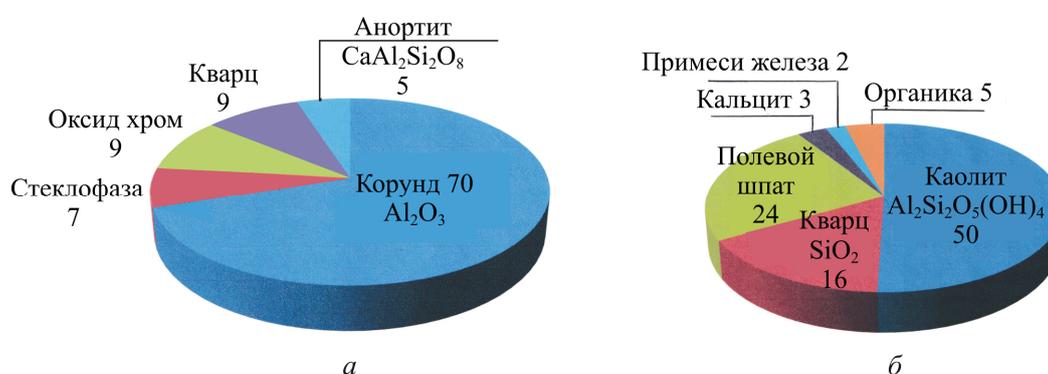


Рис. 2. Минералогический состав сырьевых материалов, %: *a* – алюмосодержащий шлак; *б* – каолин

Fig. 2. Mineralogical composition of raw materials: *a* – aluminum-containing slag; *б* – kaolin

Алюмосодержащий шлак от производства металлического хрома относится к техногенному сырью цветной металлургии. Шлак имеет плотную структуру, которая сложена в основном пластинчатыми кристаллами (рис. 1, а).

Петрографический анализ показал, что минералогический состав исследуемого шлака представлен в основном: α -модификацией Al_2O_3 корундом, плевым шлаком, кварцем, органикой, кальцитом и примесями железа (рис. 2, а). Al_2O_3 обычно присутствует в качестве высокотемпературной α -модификации, являющейся аналогом природного минерала – корунда, температура плавления которого $2050\text{ }^\circ\text{C}$ [6]. Такой состав шлаков способствует их высокой прочности, огнеупорности ($1800\text{--}1900\text{ }^\circ\text{C}$) и термической стойкости. Шлак разрушается под нагрузкой $0,2\text{ МПа}$ при температурах выше $1700\text{ }^\circ\text{C}$.

Каолин Чапаевского месторождения. Необогащенный каолин является полукислым (содержание $Al_2O_3 + TiO_2 = 15\text{--}30\%$), грубодисперсным (табл. 3), умереннопластичным (число пластичности $12\text{--}14$), малочувствительным к сушке, тугоплавким (огнеупорность $1550\text{--}1580\text{ }^\circ\text{C}$), высокотемпературным по спекаемости (свыше $1300\text{ }^\circ\text{C}$) с интервалом спекания ($100\text{--}120\text{ }^\circ\text{C}$). По минералогическому составу шлак частично можно отнести к корунду (содержание корунда 70% , рис. 2, а).

Шамот. При обжиге каолина Чапаевского месторождения при $1200\text{ }^\circ\text{C}$ образуется шамот, который используется в качестве отошителя [5]. Кроме того, как видно из табл. 1, при обжиге каолина на шамот последний обогатился Al_2O_3 с $16,2$ до $20,3\%$.

Получение кислотоупорных плиток. В работе [8] было показано, что использование кислотоупорной плитки вместо кирпича позволит снизить массу футеровки почти в 3 раза, а расход сырья в 2,5 раза. Составы керамических масс для производства кислотоупорной плитки представлены в табл. 4. В табл. 5 приведены расчетные химические составы керамических масс (составов).

Таблица 4

Составы керамических масс

Table 4

Compositions of ceramic masses

Компонент	Содержание компонентов, мас. %		
	1	2	3
Необогащенная каолиновая глина	100	60	60
Шамот из обожженной глины каолиновой глины	–	40	–
Алюмосодержащий шлак от производства металлического хрома	–	–	40

Таблица 5

Расчетные составы шихт № 1–3

Table 5

Calculated compositions of charge compositions № 1–3

Компонент	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Cr_2O_3	R_2O	П.п.п.
Состав № 1	65,5	16,2	3,0	3,5	0,8	–	2,5	8,5
Состав № 2	67,1	17,8	3,5	3,6	0,9	–	1,8	5,3
Состав № 3	43,4	38,5	2,1	4,2	0,5	3,4	2,6	5,3

По содержанию Al_2O_3 (согласно требованиям ГОСТ 28874 «Огнеупоры») алюмосиликатные огнеупорные материалы делятся на три группы, мас. %: а) полукислые – от 14 до 28; б) шамотные – от 28 до 45; в) высокоглиноземистые – от 45 до 95. Как видно из табл. 5, составы № 1 и 2 относятся к группе полукислые, а состав № 3 – к шамотным.

Из керамической массы (составы № 1–3) влажностью 21 % готовили пластическим способом квадратные плитки типа ПК-1 (размером 100 × 100 × 20·10 мм), которые обжигали при температурах 1250 и 1300 °С, а в табл. 6 приведены физико-механические показатели кислотоупорных плиток.

Таблица 6

Физико-механические показатели кислотоупорных плиток

Table 6

Physical and mechanical parameters of acid-resistant tiles

Показатели	Составы			ГОСТ 961-89 «Плитки кислотоупорные и термокислотоупорные». Марка КШ (кислотоупорные шамотные)
	1	2	3	
Дообжиговые свойства керамических масс				
Пластичность шихты (безразмерная величина)	13	8	8	–
Время сушки кирпича, ч	68	48	45	–
Усадка высушенного кирпича, %	5,8	5,2	5,0	–
Температура обжига 1250 °С				
1. Водопоглощение, %	5,8	5,1	3,7	Менее 5,0
2. Кислотостойкость, %	97,5	97,8	99,1	Не менее 98,0
3. Предел прочности при сжатии, МПа	57,2	60,1	85,1	Не менее 50
4. Предел прочности при статическом изгибе, МПа	26,4	32,3	48,2	Не менее 25
5. Морозостойкость, циклы	42	47	85	Не менее 20
Термическая стойкость, теплосмены	4	6	8	Не менее 5
Температура обжига 1300 °С				
1. Водопоглощение, %	5,1	4,8	2,4	Менее 5,0
2. Кислотостойкость, %	98,1	98,4	99,1	Не менее 98,0
3. Предел прочности при сжатии, МПа	63,8	69,2	83,8	Не менее 50
4. Предел прочности при статическом изгибе, МПа	32	38	62,7	Не менее 25
5. Морозостойкость, циклы	52	62	101	Не менее 20
Термическая стойкость, теплосмены	6	8	10	Не менее 5

Обсуждение результатов

Из небогатенного каолина, как показали наши исследования, практически невозможно получить даже при температуре обжига 1300 °С кислотоупорные плитки, которые соответствовали бы по физико-механическим показателям требованиям ГОСТ (табл. 6). Использование в качестве отощителя шамота в количестве 40 % (оптимальный состав) способствует получению при температуре обжига 1300 °С кислотоупорной плитки, соответствующей требованию ГОСТ (см. табл. 6). При введении в керамическую массу отощителя более 40 % пластичность керамической шихты становится менее 8 (см. табл. 6), и в этом случае на изделиях при формовании появляются трещины (недостаточная связующая способность шихты).

Использование алюмосодержащего шлака от производства металлического хрома в количестве 40 % (оптимальный состав, см. табл. 5) позволяет получить кислотоупорные плитки уже при температуре обжига 1250 °С с высокими физико-механическими и химическими показателями (см. табл. 6).

Полученные полукислые кислотоупоры из состава № 2, как правило, используют на малоответственных участках футеровки различных печей (например, коксовых) небольших агрегатов для литья стали, но чаще всего в качестве противопожарной изоляции, и в этом отношении этот вид имеет большие перспективы [9].

Введение в состав керамической массы отошителя с повышенным содержанием глинозема ($Al_2O_3 > 70\%$) снижает содержание SiO_2 , что уменьшает содержание количества муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), а оставшаяся некоторая часть Al_2O_3 выделяется в виде корунда [1, 8, 10–16]. Именно муллит и в большей степени корунд способствуют повышению технических свойств керамических изделий.

Корунд отличается высокой химической стойкостью по отношению к кислотам и щелочным реагентам. При комнатной температуре на него практически не действует даже HF [14].

Выводы

1. Исследования показали, что получение кислотоупорных плиток из необогащённой каолиновой глины, содержащей Al_2O_3 менее 18 %, невозможно даже при температуре обжига 1300 °С.

2. Добавление в керамическую массу оптимального количества шамота (40 %) позволяет получить кислотоупорные плитки, соответствующие требованию ГОСТ по физико-механическим показателям при температуре обжига 1300 °С. Под оптимальным содержанием отошителя принимается такое его количество, при котором число пластичности керамической массы (шихты) снижается до 8, так как при меньшем числе пластичности шихты на изделиях при формовании появляются трещины.

3. Введение в керамическую массу алюмосодержащего шлака от производства металлического хрома в количестве 40 % (как и шамота) позволяет получить изделия с высокими физико-механическими и химическими показателями при температуре обжига 1250 °С.

4. Введение в составы керамических масс глиноземсодержащего алюмосодержащего шлака от производства металлического хрома уменьшает содержание SiO_2 , а значит, и содержание муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) уменьшается, так как некоторая часть Al_2O_3 выделяется в виде корунда.

5. Корунд отличается высокой химической стойкостью по отношению к кислотам и щелочным реагентам. При комнатной температуре на него практически не действует даже HF.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Хлыстов А.И. Повышение эффективности и улучшение качества огнеупорных футеровочных материалов. – Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2004. – 134 с.

2. Перспективное использования глиноземсодержащих отходов промышленности в производстве жаростойких бетонов / А.И. Хлыстов, С.В. Соколова, М.Н. Баранова, Д.И. Васильева, Ю.А. Холопов // *Экология и промышленность России*. – 2021. – Т. 25, № 7. – С. 8–12.
3. Дубовник О.Л. Реформа Европейского Законодательства об отходах // *Российское право: образование, практика, наука*. – 2005. – № 5. – С. 80–84.
4. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование структуры пористости керамического материала крепостной стены г. Жироны (Испания) // *Стекло и керамика*. – 2020. – № 7. – С. 42–46.
5. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Фазовый состав и физико-механические свойства при различных температурах обжига керамического сейсмостойкого кирпича с использованием ферропыли // *Стекло и керамика*. – 2020. – № 12. – С. 45–50.
6. Попова А.А., Попова Т.Б. *Физическая химия*. – СПб.: Лань, 2015. – 496 с.
7. 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.
8. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Физико-химические процессы при обжиге кислотоупоров. – СПб.: Недра, 2003. – 273 с.
9. Кашеев И.Д. Свойства и применение огнеупоров. – М.: Теплотехник, 2004. – 352 с.
10. Попова А.А., Попова Т.Б. *Физическая химия*. – СПб.: Лань, 2015. – 496 с.
11. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге золошлакокерамических материалов / А.А. Кулибаев, А.В. Дян, В.В. Шевандо, Ж.Е. Калиева, Б.О. Смаилова, Д.А. Идрисов, С.Ж. Сайбулатов // *Строительные материалы*. – 2009. – № 9. – С. 54–56.
12. Кашеев И.Д., Стрелков К.К., Мамыкин П.С. Химическая технология огнеупоров. – М.: Интермет Инжиниринг, 2007. – 752 с.
13. Муллитокорундовые материалы на основе муллитовой связки, стойкие к высокотемпературным деформациям / П.М. Плетнев, В.М. Погребенков, В.И. Верещагин, Д.С. Тюлькин // *Новые огнеупоры*. – 2017. – № 11. – С. 36–43.
14. Тюлькин Д.С., Плетнев. 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.
15. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Use of Nonferrous Metallurgy Waste: Clayey Portion of the Zirconium Ore Gravity Tailings and Pyrite Cinders in Tile-Making // *Materials Science Forum, Switzerland. Materials Science and Metallurgical Technology II 2020*. – P. 47–53.
16. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Oxidation Processes in the Firing of Porous Filler Based on Oil Production Wastes and Intershale Clay // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. – 2020. – Vol. 54, № 4. – P. 750–755.

References

1. Khlystov A.I. Increasing the efficiency and improving the quality of refractory lining materials. Samara, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 2004, 134 p.
2. Khlystov A.I., Sokolova S.V., Baranova M.N., Vasilyeva D.I., Kholopov Yu.A. Promising use of alumina-containing industrial waste in the production of heat-resistant concrete. *Ecology and Industry of Russia*, 2021, vol. 25, no. 7, pp. 8–12.

3. Dubovnik O.L. Reform of the European Waste Legislation. *Russian law: education, practice, science*, 2005, no. 5, pp. 80–84.
4. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Study of the porosity structure of the ceramic material of the fortress wall of Girona (Spain). *Glass and ceramics*, 2020, no. 7, pp. 42–46.
5. Kairakbayev A.K., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Phase composition and physical and mechanical properties at different firing temperatures of ceramic earthquake-resistant bricks using ferropyl. *Glass and ceramics*, 2020, no. 12, pp. 45–50.
6. Popova A.A., Popova T.B. Physical chemistry. Training manual. Saint Petersburg, Lan', 2015, 496 p.
7. 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, pp. 64–68.
8. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Physico-chemical processes in the firing of acid-resistant materials. Saint Petersburg, Nedra, 2003, 273 p.
9. Kashcheev I.D. Properties and application of refractories. Moscow, Teplotekhnika, 2004, 352 p.
10. Popova A.A., Popova T.B. Physical chemistry. Training manual. Saint Petersburg, Lan', 2015, 496 p.
11. Kulibayev A.A., Dyan A.V., Shevando V.V., Kalieva Zh.E., Smailova B.O., Idrisov D.A., Saibulatov S.Zh. Physico-chemical processes occurring during the firing of ash and slag-ceramic materials. *Stroitel'nye materialy*, 2009, no. 9, pp. 54–56.
12. Kashcheev I.D., Strelkov K.K., Mamykin P.S. Chemical technology of refractories. Moscow, Internet Engineering, 2007, 752 p.
13. Pletnev P.M., Pogrebenkov V.M., Vereshchagin V.I., Tyulkin D.S. Mullite-corundum materials based on mullite ligament, resistant to high-temperature deformations. *New refractories*, 2017, no. 11, pp. 36–43.
14. Tyulkin D.S., Pletnev. Characteristics of domestic raw materials for the production of heat-resistant high-temperature corundomullite refractories. *Collection of scientific papers of the International conference "STROY SIB 2016": Resources and resource-saving technologies in materials science*. Novosibirsk, 2016, pp. 204–209.
15. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov B.Z. Use of Nonferrous Metallurgy Waste: Clayey Portion of the Zirconium Ore Gravity Tailings and Pyrite Cinders in Tile-Making. *Materials Science Forum, Switzerland. Materials Science and Metallurgical Technology II*, 2020, pp. 47–53.
16. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Oxidation Processes in the Firing of Porous Filler Based on Oil Production Wastes and Intershale Clay. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2020, vol. 54, no. 4, pp. 750–755.