

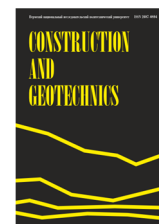


пермский
политех

CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 16, № 1, 2025

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



DOI: 10.15593/2224-9826/2025.1.05

УДК 691.421:691.222 (043.3)

КЕРАМИЧЕСКИЕ СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ

Ж.Т. Сулейменов, А.А. Сагындыков, Е.А. Абуталипов

Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

О СТАТЬЕ

Получена: 19 декабря 2023
Одобрена: 22 декабря 2024
Принята к публикации:
05 марта 2025

Ключевые слова:

керамический кирпич, барханный песок, кальцинированная сода, ядро, оболочка, полусухое прессование, обжиг, физико-механические свойства, прочность, структура.

АННОТАЦИЯ

Выполнен химический анализ и определен фазовый состав барханных песков, которые состоят из кварца, глинистых минералов, карбонатов и мусковита. Макроструктура предлагаемой стеновой керамики состоит из гранул барханного песка размером менее 1,5 мм и тонкоизмельченной связки из барханного песка и кальцинированной соды.

Построены диаграммы плавкости барханного песка и композиционных связок из тонкомолотого барханного песка и кальцинированной соды. Наличие сродства связок к зернам барханного песка и их высокая реакционная способность по отношению к поверхности зерен обеспечивают высокую степень спекания и получение малонапряженных структур керамики.

Изучены физико-технические свойства гранул барханного песка и обжиговых связок. Добавки кальцинированной соды интенсивно повышают прочность образцов при сжатии, а также снижают показатели водопоглощения и средней плотности.

Наибольшее повышение прочности и снижение водопоглощения, средней плотности образцов достигается при добавке 3 % соды. Введение в состав смесей соды способствует появлению жидкой фазы при низких температурах (740–760 °С), количество которой увеличивается с повышением температуры; в результате интенсифицируется процесс спекания, вследствие которого происходит повышение физико-механических свойств керамики. Образующаяся жидкая фаза обволакивает всю поверхность ядра песка, заполняет пустоты между ними и стягивает ядра, создавая их наиболее выгодное местоположение. Кроме того, частично оплавляя поверхность ядра песка, жидкая фаза оболочки способствует интенсивному увеличению количества расплава.

Основной кристаллической фазой до начала кристаллизации тройных эвтектик являются кварц и анортит, образование которого, возможно, связано с протекающими реакциями между СаО, образующейся при разложении кальцита, и метакатолином, образующимся при обжиге.

Методом полусухого прессования и содержания барханного песка в шихте 97–99 %, кальцинированной соды 1–3 % получен высокопрочный керамический кирпич прочностью 19,7 МПа и водопоглощением 15,4 %.

© Сулейменов Жусупбек Таширбаевич – академик Национальной академии наук Республики Казахстан, доктор технических наук, профессор, e-mail: zhsuleimenov2020@mail.ru.

Сагындыков Аймахамбет Абуталипович – доктор технических наук, профессор, e-mail: ernur.abutalipov98@mail.ru.

Абуталипов Ернур Аймахамбетович – магистр, e-mail: ernur.abutalipov98@mail.ru.

Zhusupbek T. Suleimenov – Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: zhsuleimenov2020@mail.ru.

Aimakhambet A. Sagyndykov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: ernur.abutalipov98@mail.ru.

Ernur A. Abutalipov – Master, e-mail: ernur.abutalipov98@mail.ru.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

CERAMIC WALL MATERIALS MADE OF SAND DUNES

Zh.T. Suleimenov, A.A. Sagyndykov, E.A. Abutalipov

M.H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

ARTICLE INFO

Received: 19 December 2023
Approved: 22 December 2024
Accepted for publication:
05 March 2025

Keywords:

ceramic brick, sand sand, soda ash, core, shell, semi-dry pressing, firing, physical and mechanical properties, strength, structure.

ABSTRACT

Chemical analysis was performed and the phase composition of the sand dunes, which consists of quartz, clay minerals, carbonates and muscovite, was determined. The macrostructure of the proposed wall ceramics consists of sand pellets with a size of less than 1.5 mm and a finely ground bundle of sand and soda ash.

Diagrams of the fusibility of sand dunes and composite bundles of finely ground sand dunes and soda ash are constructed. The affinity of the bundles to the grains of sand dunes and their high reactivity with respect to the surface of the grains ensures a high degree of sintering and obtaining low-stress ceramic structures.

The physical and technical properties of sand pellets and firing bundles have been studied. Soda ash additives intensively increase the compressive strength of samples, as well as reduce water absorption and average density.

The greatest increase in strength and reduction of water absorption, average density of samples is achieved with the addition of 3 % soda. The introduction of soda into the composition of mixtures contributes to the appearance of a liquid phase at low temperatures (740–760 °C), the amount of which increases with increasing temperature as a result, the sintering process intensifies, as a result of which the physical and mechanical properties of ceramics increase. The resulting liquid phase envelops the entire surface of the sand core, fills the voids between them and pulls the cores together, creating their most advantageous location. In addition, partially melting the surface of the sand core, the liquid phase of the shell contributes to an intensive increase in the amount of melt.

The main crystalline phase is anorthite, the formation of which is possibly due to the reaction between CaO formed during the decomposition of calcite and metakaolinite formed during firing and quartz.

A high-strength ceramic brick with a strength of 19.7 MPa and a water absorption of 15.4 % was obtained by semi-dry pressing and the content of sand in the charge of 97–99 %, soda ash 1–3 %.

Введение

Истощение такого природного дефицитного сырья, как глины, суглинки, являющегося основным сырьем при производстве строительной керамики, требует вовлечения в производство нетрадиционных сырьевых материалов [1, 2]. В этом направлении представляет интерес получение и исследования щелочных алюмосиликатных связующих дегидратационного твердения и малопластичных наполнителей в производстве стеновой керамики [3–5].

Барханные пески (БП) являются одним из распространенных природных высококремнеземистых сырьевых материалов. Наличие в химическом составе оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия, калия позволяет использовать это сырье в производстве стенового керамического кирпича. В работе [4] БП в количестве 40–60 % и глины 40–60 % используются для получения керамической плитки. Обожженные при 1000–1050 °C плитки имеют водопоглощение 0,9–4 %, что свидетельствует об активности БП при спекании. Также известен состав кремнеземистой керамической композиции включающий: мелкодисперсный кремнезем – 10–90 %; оксид кальция – 2–5 %; бишофит – 0,5–1,5 %; едкий натр (в пересчете на Na₂O) – 1–7 %; поверхностно-активное вещество (сверх 100 %) – 0,1–0,5 %; немолотый кварцевый песок – остальное [5].

Приоритетным направлением снижения температуры обжига керамики является применение эффективных плавней, которые при максимальной температуре спекания плавятся, переходя в расплав, или образуют с другими материалами массы силикатные расплавы, способствующие образованию прочного материала [6–10].

При получении строительной керамики перспективным направлением является разработка технологии керамических стеновых материалов на основе безглинистых композиционных связующих и зернистых наполнителей из БП.

Известны работы по синтезу высокопрочной керамики, состоящей из структуры «ядро – связка» [11, 12]. Макроструктура предлагаемой стеновой керамики состоит из 50–70 % гранул кварцсодержащего сырья размером менее 1 мм и 30–50 % тонкоизмельченной связки. Общее содержание высококварцевого сырья может достигать до 80–90 %. В то же время можно отметить, что традиционный стеновой керамический кирпич изготавливается из 90–95 % природного суглинка [13–20].

Экспериментальная часть

Анализ химического состава БП (табл. 1) показывает высокое содержание SiO_2 (66,9 %) и низкое содержание Al_2O_3 (9,1 %). Повышенное содержание SiO_2 свидетельствует о наличии свободного кремнезема, не связанного с Al_2O_3 , присутствующих в глинистых минералах. Это уменьшает связующую способность БП, повышает пористость обожженных изделий и снижает их прочность.

Химические составы исходного сырья и связки на их основе приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав барханного песка и связок на его основе

Table 1

The chemical composition of sand dunes and bundles based on it

Состав сырья	Содержание оксидов, %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	п.п.п
БП	66,9	9,1	2,7	9,1	1,9	1,7	1,5	0,2	6,9
Связка БП – 96,7 %, КС – 3,3 %	67,8	10,9	2,9	10,8	2,2	3,8	1,7	0,2	–
Связка БП – 93,4 %, КС – 6,6 %	67,4	10,6	2,8	10,6	2,1	4,9	1,6	0,2	–
Связка БП – 90 %, КС – 10 %	67,1	10,2	2,6	10,2	1,9	6,2	1,5	0,2	–

Минералогический состав БП, %: кварц – 58–62; полевошпат – 12–14; карбонаты – 12–15; слюда – 2,5–4. Содержание пылевидных и глинистых частиц 5,5 %. Модуль крупности 0,68 (табл. 2).

Таблица 2

Гранулометрический состав барханного песка

Table 2

Granulometric composition of sand dunes

Размер сит, мм	Размер фракции, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Менее 0,14
Частные остатки	–	7,6	12,8	22,4	34,7	22,5
Полные остатки	–	7,6	20,4	42,8	77,5	100

Преобладающий размер зерен кварц-полевошпатового БП находится в пределах от 0,315–0,63.

Для композиции «ядро – оболочка» важно исследование таких физико-технических свойств БП, как плотность, плавкость (табл. 3).

Таблица 3

Физико-технические свойства барханных песков

Table 3

Physical and technical properties of sand dunes

Сырье	Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Характеристика плавкости		
			$t_{нд}$, °C	$t_{пл}$, °C	$t_{жс}$, °C
БП	2430	1390	1280	1310	1400

Примечание: $t_{нд}$, °C – температура начала деформации; $t_{пл}$, °C – температура плавления; $t_{жс}$, °C – температура жидкоплавкового состояния.

По характеристике плавкости БП относится к легкоплавкому сырью. В минералогический состав БП входит кварц кристаллический α – SiO_2 , в небольшом количестве содержатся глинистые минералы, карбонаты в виде магнезита MgCO_3 и кальцита CaCO_3 , кроме того, содержится мусковит $\text{KAl}_2(\text{OH}, \text{F})_2\text{AlSi}_3\text{CO}_{10}$.

Определение спекаемости исследуемой БП с целью применения в качестве связки проводилось по ГОСТ 21216.8-93.

Сырьем для связок были выбраны БП и кальцинированная сода (КС), размолотые до полного прохождения через сито с размером ячейки 0,08 мм. Содержание КС в связке в количестве 3,3; 6,6 и 10 % соответствует его содержанию в шихте соответственно 1; 2; 3 %.

При синтезе кремнеземистой керамики стоит задача получения неорганической связки – золя кремнезема, который получают разрушением структуры кремнезема, состоящей из кремнекислородных тетраэдров, активным растворителем – едкой щелочью, переводя трехмерную структуру в линейную [5].

Результаты исследований технологических свойств связки из БП и КС представлены в табл. 4.

Таблица 4

Изменение технологических свойств барханного песка от содержания
кальцинированной соды

Table 4

Changing the technological properties of sand dunes from the content of soda ash

№ п/п	БП, %	КС, %	Формовочная влажность, %	Число пластичности, П	Температура плавления, °C	Усадка, %
1	100	–	10,2	3,8	1100	2,7
2	96,7	3,3	9,8	7,6	1050	3,1
3	93,4	6,6	9,4	8,5	1000	3,5
4	90	10	9,0	9,4	950	4,3

Из приведенных данных (табл. 4) следует, что введение в БП кальцинированной соды благоприятно влияет на технологические свойства шихты: повышается пластичность сырьевой массы, которая при добавлении КС в количестве 10 % достигает 9,4, уменьшается коэффициент чувствительности сырья к сушке и воздушная усадка образцов.

Одним из важных технологических свойств керамической массы является связность, которая характеризуется прочностью сырца после формования. В глинистой массе компонентом, который связывает непластичные составляющие, являются глинистые минералы БП.

После увлажнения пластичные тоненькие частицы при формовании изделий, где действует определенное усилие, заполняют межзерновые пустоты крупных непластичных зерен БП и при высыхании прочно сцепляются с ними, обеспечивая прочность материала.

Подготовленная связка из средней пробы БП и КС размером менее 0,08 мм и каркас из гранул БП затворялась водой и подвергалась смешиванию. Методом полусухого прессования [4] изготавливались образцы в виде кубиков размером 50×50×50 мм. Образцы высушивались до воздушно-сухого состояния, после чего обжигались в силитовой печи при 1000 °С с выдержкой при конечной температуре в течение 1 ч. Охлаждение образцов осуществлялось по свободному режиму совместно с печью. Затем образцы сортировались и подвергались испытаниям: определялась воздушная и огневая усадка, водопоглощение, механическая прочность.

Наибольшую прочность при сжатии – 0,42 МПа – имеют образцы-сырцы из добавки КС в количестве 3 %, наименьшую – 0,33 МПа – образцы из КС в количестве 1 %.

Наличие в составе связки оксида натрия свидетельствует о возможности появления первичного расплава при обжиге уже при температуре 740 °С, количество которого увеличивается с повышением температуры (рис. 1).

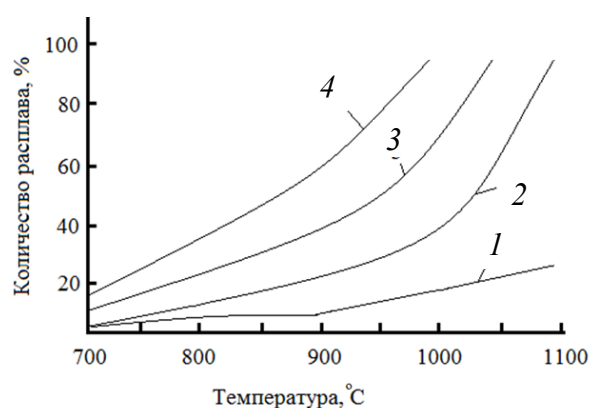


Рис. 1. Кривые плавкости барханного песка и связующих на ее основе: 1 – барханный песок; 2 – связующее из 96,7 % барханного песка и 3,3 % кальцинированной соды; 3 – связующее из 93,4 % барханного песка и 6,6 % кальцинированной соды; 4 – связующее из 90 % барханного песка и 10 % кальцинированной соды

Fig. 1. Melting curves of sand dunes and binders based on it: 1 – barchan sand; 2 – binder of 96.7 % barchan sand and 3.3 % soda ash; 3 – binder of 93.4 % barchan sand and 6.6 % soda ash; 4 – binder of 90 % barchan sand and 10 % soda ash

Усадка гранул составляет 0,3%, связки 4,1–5,3 % (табл. 5). Наличие сродства связок к зернам БП и их высокая реакционная способность по отношению к поверхности зерен обеспечивают высокую степень спекания; в этом случае обеспечивается получение малонапряженных структур керамики.

Прочная структура керамики, обеспечивающая высокие эксплуатационные свойства, формируется на стадии обжига. В этом случае процесс фазообразования во многом определяется составом шихты и свойствами составляющих ее компонентов.

Анализ процессов кристаллизации расплавов керамической массы, проведенный по диаграмме состояния $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, показал возможность образования при обжиге

составов благоприятных для спекания и свойств кристаллических фаз. В соответствии с диаграммой состояния $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ основными фазами до начала кристаллизации тройных эвтектик являются кварц, анортит и стеклофаза, заполняющие промежутки между кристаллами (рис. 2).

Таблица 5

Физико-технические свойства гранул и связок

Table 5

Physical and technical properties of granules and bundles

Состав связки	Усадка, %		Температура плавления, °C		Адгезионная прочность, МПа
	гранулы	связки	гранулы	связки	
БП – 96,7 %, КС – 3,3 %	0,3	4,1	1380	1100	642
БП – 93,4 %, КС – 6,6 %	0,3	4,9	1380	1000	645
БП – 90 %, КС – 10 %	0,3	5,3	1380	950	649

Область нахождения фигуративных точек расплавов находятся в элементарном треугольнике «анортит – муллит – кварц» с температурой плавления 1345 °C.

В соответствии с диаграммой состояния $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ связка находится в области «альбит – муллит – кварц», где преимущественной кристаллической фазой до начала кристаллизации тройных эвтектик являются кварц 39–55 % и анортит 45–61 % (рис. 2).

Добавки КС интенсивно повышают прочность образцов при сжатии с 6,2 до 11,5 МПа, а также снижают показатели водопоглощения и средней плотности (табл. 6).

Наибольшее повышение прочности и снижение водопоглощения, средней плотности образцов достигается при добавке 3 % КС. Введение в состав смесей КС способствует появлению жидкой фазы при низких температурах (740–760 °C), количество которой увеличивается с повышением температуры, в результате интенсифицируется процесс спекания.

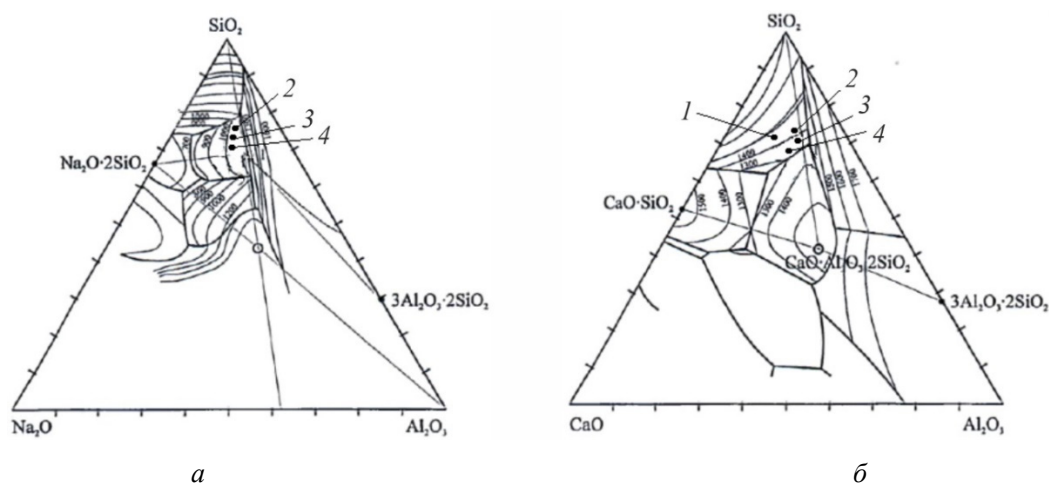


Рис. 2. Расположение составов барханного песка и связок на диаграммах состояния: а – $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$; б – $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$: 1 – барханный песок; 2 – связующее из 96,7 % барханного песка и 3,3 % кальцинированной соды; 3 – связующее из 93,4 % барханного песка и 6,6 % кальцинированной соды; 4 – связующее из 90 % барханного песка и 10 % кальцинированной соды

Fig. 2. The location of the compositions of sand dunes and bundles on the state diagrams: а – $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$; б – $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$: 1 – barchan sand; 2 – binder of 96.7 % barchan sand and 3.3 % soda ash; 3 – binder of 93.4 % barchan sand and 6.6 % soda ash; 4 – binder of 90 % barchan sand and 10 % soda ash

Таблица 6

Керамические свойства кирпича после обжига при температуре 1000 °С

Table 6

Ceramic properties of bricks after firing at a temperature of 1000 °C

Состав	Прочность при сжатии, МПа	Усадка, %	Водопоглощение, %	Средняя плотность, кг/м ³
БП измельченный	6,2	3,1	21,2	2120
БП гранулы – 70 %, связка из БП 29 % и КС – 1 %	11,5	0,1	19,4	1740
БП гранулы – 70 %, связка из БП 28 % и КС – 2 %	15,2	0,2	18,3	1720
БП гранулы – 70 %, связка из БП 27 % и КС – 3 %	19,7	0,3	17,9	1690
БП гранулы – 50 %, связка – 50 % (БП – 47 %, КС – 3 %)	17,2	0,5	16,1	1670
БП гранулы – 60 %, связка – 40 % (БП – 37 %, КС – 3 %)	18,4	0,6	15,4	1650
БП гранулы – 80 %, связка – 20 % (БП – 18 %, КС – 2 %)	9,4	0,2	23,1	1710

При добавлении КС в количестве 1–3 % происходит увеличение прочности при сжатии с 6,2 до 19,7 МПа, водопоглощение снижается с 21,2 до 17,9 % (рис. 3).



Рис. 3. Влияние количества кальцинированной соды на прочность при сжатии (1) и водопоглощение (2) керамического кирпича, обожженного при температуре 1000 °С

Fig. 3. The effect of the amount of soda ash on the compressive strength (1) and water absorption (2) of ceramic bricks fired at a temperature of 1000 °C

Образующаяся жидкая фаза обволакивает всю поверхность ядра БП, заполняет пустоты между ними и стягивает ядра, создавая их наиболее выгодное местоположение. Кроме того, частично оплавляя поверхность ядра БП, жидкая фаза оболочки способствует интенсивному увеличению количества расплава. Вследствие высокой проникающей и реакционной способности вещества оболочки при наличии КС, общее количество вещества оболочки для образования прочных структур может быть уменьшено.

Высокая температура обжига, наличие в составах масс достаточного количества оксидов щелочных, щелочноземельных металлов, оксидов железа, аморфного кремнезема обеспечивают активное протекание жидкофазного механизма спекания [5, 12].

Присутствие плавней в составе оболочки, покрывающей зерна БП, ускоряет процессы образования расплава и сцепления.

Высокая степень спекаемости связки из тонкомолотой БП и КС, сродство к зернам БП и их высокая адгезия по отношению к поверхности зерен позволяют получать однородные высокопрочные структуры [18–20]. Зерна БП также принимают активное участие в образовании расплава.

С целью определения влияния количественного состава гранул БП на изменение прочности, усадки и водопоглощения были изготовлены образцы с содержанием гранул БП 50; 60; 70 и 80 % и связки 20; 30; 40; 50 % (табл. 6). Оптимальное количество гранул БП в шихте составляет 50–70 %. Увеличение количества гранул БП до 80% приводит к резкому снижению прочности из недостаточного количества связки. Уменьшение количества гранул БП менее, чем на 50 %, приводит к утолщению слоя связки, вследствие которой наблюдается некоторое уменьшение прочности. При больших количествах связки в композиции из БП легкоплавкая оболочка вокруг зерна кварц-полевошпатового песка утолщается, количество расплава при обжиге увеличивается и, следовательно, повышается прочность, снижается водопоглощение.

На рентгенограмме образца, нагретого до 900 °С, наблюдается некоторый рост интенсивности линий кварца, что объясняется началом модификационных превращений α -кварца в α -тридимит. Альбит остается без изменения, зерна кальцита подвержены частичной диссоциации.

Рентгенограмма связующего, нагретого до 1000 °С, свидетельствует о наличии α -тридимита. Интенсивность пиков альбита и кальцита снижается, что свидетельствует о начале формирования анортита ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ($d/n=2,13; 2,51; 3,20$). Образование анортита связано с распадом полевого шпата (альбита) и кальцита (CaCO_3) на составляющие Al_2O_3 , 2SiO_2 и CaO . Последние при более высокой температуре (1100–1200 °С) в результате твердофазных реакций способствуют формированию анортита.

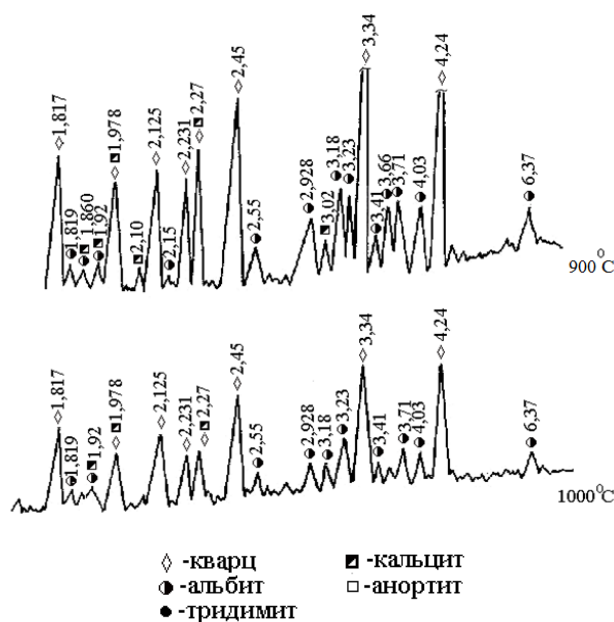


Рис. 4. Рентгенограмма связующего из барханного песка и кальцинированной соды, обожженных при температурах 900 и 1000 °С

Fig. 4. X-ray of a binder made of sand and soda ash fired at temperatures of 900 and 1000 °С

Обсуждение результатов

Наиболее активное спекание и формирование плотных структур в грубозернистых композициях с барханным песком происходит при содержании 30–50 % связки и 50–70 % зернистого компонента барханного песка.

Кальцинированная сода в составе связки выполняет роль пластификатора и флюсующей добавки, повышая связующую способность и плавкость смеси.

При обжиге смеси, состоящей из гранул БП и связки, происходит образование жидкой фазы и ее последующая кристаллизация с образованием упрочняющих кристаллических фаз.

Заключение

1. Содержание в связке 1–3 % кальцинированной соды позволяет повысить число пластичности смеси и обеспечить бездефектное формование кирпича.

2. Оптимальное содержание зерен БП в керамической композиции может составлять 50–70 %. При меньшем содержании увеличивается расход связующего, при большем содержании не обеспечиваются необходимые физико-механические показатели.

3. Использование КС в количестве 1–3 % позволило получить керамический кирпич прочностью 11,5–19,7 МПа, водопоглощением 15,4–19,4 %, средней плотностью 1650–1740 кг/м³.

4. Фазовый состав связки из тонкомолотых БП и КС, подвергнутый обжигу при 1000 °С, состоит из анортита, кварца, тридимита и стеклофазы.

Для получения высокопрочного керамического кирпича содержание грубодисперсного компонента в виде барханного песка фракции менее 1,25 мм должно составлять 50–70 %, тонкомолотого БП – 29–47 %, КС – 1–3 %. Температура обжига 1000 °С, давление прессования – 20–25 МПа, влажность пресс порошка 7–8 %.

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. Абдрахимов, В.З. Использование отходов флотации углеобогащения, межсланцевой и дегидратированной глин в производстве керамического кирпича / В.З. Абдрахимов // Construction and Geotechnics. – 2022. – Т. 13, № 2. – С. 34–43. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.03
2. Семейных, Н.С. Анализ использования различных сырьевых компонентов в производстве гранулированного пеностекла / Н.С. Семейных, Г.В. Сопегин // Construction and Geotechnics. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 60–74. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.05
3. Эминов, А.М. Исследование физико-механических свойств керамических плит на основе новых сырьевых ресурсов ниже амударьинского региона [Электронный ресурс] / А.М. Эминов, Ж.С. Жабберганов, И.Р. Бойжанов // Universum: технические науки: электрон. науч. журнал. – 2022. – Vol. 8(101). – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14154> (дата обращения: 09.01.2025).
4. Сабилов, Б.Т. Разработка оптимальных составов керамических плиток с использованием барханных песков / Б.Т. Сабилов, З.Р. Кадырова, С.С. Таиров // Стекло и керамика. – 2018. – Т. 91, № 9. – С. 36–39.

5. Кремнеземистая керамика – перспективный строительный материал / И.Ю. Долгова, В.И. Самойлов, А.В. Шамрей, А.А. Храпов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. – 2013. – № 10. – С. 13–19.
6. Дороганов, В.А. Исследование свойств систем искусственных керамических вяжущих полученных на основе полевого шпата и песка / В.А. Дороганов, Е.В. Неверова // *Наукоемкие технологии и инновации: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф.* – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 40–44.
7. Preparation of porcelain building tiles using K_2O – Na_2O feldspar flux as a modifier agent of low-temperature firing / D. Weixia, B. Qifu, Z. Jian-er, Z. Tianguai, L. Kun, H. Zhiwei // *Journal of the Ceramic Society of Japan*. – 2017. – Vol. 125. – P. 690–694.
8. Iron and steel slag: an alternative source of raw materials for porcelain ceramics / A.R.Siddiqui, M. Pal, D. Bhattacharya, S.K. Das // *Global NEST Journal*. – 2014. – Vol 16, iss. 4. – P. 587–596.
9. Martín-Márquez, J. Effect of firing temperature on sintering of porcelain stoneware tiles / J. Martín-Márquez, J.M. Rincón, M. Romero // *Ceramics International*. – 2008. – Vol. 34. – P. 1867–1873.
10. Kausik, D. Partial substitution of feldspar by B.F. slag in triaxial porcelain: Phase and microstructural evolution / D. Kausik, K.D. Swapan // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2004. – Vol. 24. – P. 3833–3839.
11. Спекание облицовочных керамических масс на основе кварц-полевошпатового сорского песка / Р.Г. Еромасов, Э.М. Никифорова, Т.В. Ступко, А.С. Самойло, М.Н. Васильева, Н.С. Симонова // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8-6. – С. 1312–1316.
12. Влияние дисперсности непластичных компонентов керамических масс на спекание и свойства строительной керамики / А.Е. Бурученко, В.И. Верещагин, С.И. Мушарапова, В.К. Меньшикова // *Строительные материалы*. – 2015. – № 8. – С. 64–67.
13. Применение вскрышных пород и отходов обогащения рудных песков для получения керамических изделий / В.П. Лузин, А.В. Корнилов, В.П. Сютин, В.В. Морозов, Л.П. Лузина, Р.Р. Самигуллин // *Вестник технологического университета*. – 2017. – Т. 20, № 10. – С. 34–37.
14. Гинчицкая, Ю.Н. Стеновая керамика на основе пылеватого суглинка с применением комплексных добавок: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю.Н. Гинчицкая. – Казань, 2021. – 20 с.
15. Дубинецкий, В.В. Керамический кирпич с применением карбонатсодержащего отхода бурения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Дубинецкий. – Оренбург, 2019. – 22 с.
16. Салахов, А.М. Энергоэффективные керамические стеновые материалы из нетрадиционного сырья / А.М. Салахов, В.Н. Геращенко, Р.А. Салахова, В.П. Морозов, Р.Р. Кабиров // *Строительные материалы*. – 2012. – № 11. – С. 9–12.
17. Буравчук, Н.И. Использование техногенного сырья в технологии керамического кирпича / Н.И. Буравчук, О.В. Гурьянова // *Инноватика и экспертиза*. – 2020. – Вып. 2 (30). – С. 160–169.
18. Гурьева, В.А. Керамический кирпич полусухого прессования на основе композиции алюмосиликатного сырья и минерального продукта отходов бурения / В.А. Гурьева, В.В. Дубинецкий // *Строительные материалы*. – 2023. – № 9. – С. 18–22. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-817-9-18-22

19. Сапелкина, Т.В. Композиционные керамические материалы из природных и техногенных пород Республики Тыва / Т.В. Сапелкина, Г.И. Стороженко, Т.Е. Шоева // Строительные материалы. – 2023. – № 5. – С. 9–13. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-813-5-9-13

20. Керамический кирпич дорожного назначения для мощения тротуаров в регионах Приаралья / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, З.К. Бабаев, З.Б. Джуманиязов // Стекло и керамика. – 2023. – Т. 96, № 2. – С. 53–60. DOI: 10.14489/glc.2023.02.pp.053-060

References

1. Abdrakhimov V.Z. The use of coal enrichment flotation waste, interstitial and dehydrated clays and in the production of ceramic bricks. *Construction and Geotechnics*, 2022, vol. 13, iss. 2, pp. 34-43. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.03.

2. Semeinykh N.S., Sopegin G.V. Analysis of the use of various raw materials components in the production of granular foam glass. *Construction and Geotechnics*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 60-74. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.05.

3. Eminov A.M., Zhabbergenov Zh.S., Boyzhanov I.R. Investigation of physical and mechanical properties of ceramic plates on the basis of new raw materials of the Nizhneamudarya region. *Universum: technical sciences*, 2022, no. 8(101), available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14154>.

4. Sabirov B.T., Kadyrova Z.R., Tairov S.S. Development of optimal compositions of ceramic tiles using sand dunes. *Glass and ceramics*, 2018, vol. 91, no. 9, pp. 36-39.

5. Dolgova I. Yu., Samoilov V.I., Shamrey A.V., Khrapov A.A. Silica ceramics – a promising building material. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*, 2013, no. 10, pp. 13-19.

6. Doroganov V.A., Neverova E.V. Investigation of the properties of artificial ceramic binder systems based on feldspar and sand. *High-tech technologies and innovations: electronic collection of reports of the International Scientific and Practical Conference*, Belgorod, BSTU, 2019, Part 1, pp. 40-44.

7. Weixia D., Qifu B., Jianer Z., Tianguai Z., Kun L., Zhiwei H. Preparation of porcelain building tiles using K₂O–Na₂O feldspar flux as a modifier agent of low-temperature firing. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 2017, vol. 125, pp. 690–694.

8. Siddiqui A.R., Pal M., Bhattacharya D., Das S.K. Iron and steel slag: an alternative source of raw materials for porcelain ceramics. *Global NEST Journal*, 2014, vol. 16, iss. 4, pp. 587–596.

9. Martín-Márquez J., Rincón J.M., Romero M. Effect of firing temperature on sintering of porcelain stoneware tiles. *Ceramics International*, 2008, vol. 34, pp. 1867–1873.

10. Kausik Dana, Swapan Kumar Das. Partial substitution of feldspar by B.F. slag in triaxial porcelain: Phase and microstructural evolution. *Journal of the European Ceramic Society*, 2004, vol. 24, pp. 3833–3839.

11. Eromasov R.G., Nikiforova E.M., Stupko T.V., Samoilo A.S., Vasilyeva M.N., Simonova N.S. Sintering of facing ceramic masses based on quartz-feldspar sorsky sand. *Fundamental research*, 2013, no. 8-6, pp. 1312-1316.

12. Buruchenko A.E., Vereshchagin V.I., Musharapova S.I., Menshikova V.K. Influence of dispersion of nonplastic components of ceramic masses on sintering and properties of building ceramics. *Building materials*, 2015, no.8, pp. 64-67.

13. Luzin V.P., Kornilov A.V., Syutin V.P., Morozov V.V., Luzina L.P., Samigullin R.R. Application of overburden rocks and ore sands enrichment waste for the production of ceramic products. *Bulletin of the Technological University*, 2017, vol.20, no.10, pp. 34-37.

14. Ginchitskaya Yu.N. Wall ceramics based on pulverized loam with the use of complex additives. Abstract of Ph. D. thesis. Kazan, 2021, 20 p.
15. Dubinetsky V.V. Ceramic brick with the use of carbonate-containing drilling waste. Abstract of Ph. D. thesis. Orenburg, 2019, 22 p.
16. Salakhov A.M., Gerashchenko V.N., Salakhova R.A., Morozov V.P., Kabirov R.R. Energy-efficient ceramic wall materials from non-traditional raw materials. *Building materials*, 2012, no. 11, pp. 9-12.
17. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. The use of technogenic raw materials in ceramic brick technology. *Innovation and expertise*, 2020, iss. 2 (30), pp. 160-169.
18. Guryeva V.A., Dubinetsky V.V. Semi-dry pressed ceramic brick based on a composition of aluminosilicate raw materials and a mineral product of drilling waste. *Building materials*, 2023, no. 9, pp. 18-22. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-817-9-18-22.
19. Sapelkina T.V., Storozhenko G.I., Shoeva T.E. Composite ceramic materials from natural and man-made rocks of the Republic of Tyva. *Building materials*, 2023, no. 5, pp. 9-13. DOI: 10.31659/0585-430X-2023-813-5-9-13.
20. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Babaev Z.K., Dzhumaniyazov Z.B. Ceramic road bricks for paving sidewalks in the Aral Sea regions. *Glass and ceramics*, 2023, vol. 96, no. 2, pp. 53 – 60. DOI: 10.14489/glc.2023.02. pp.053-060.