

DOI 10.35264/1996-2274-2020-2-160-169

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Н.И. Буравчук, зав. лаб. ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ),
канд. хим. наук, nburavchuk@sfedu.ru

О.В. Гурьянова, ст. науч. сотр. ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
(ЮФУ), guryanovaolga@mail.ru

Рецензент: Пухаренко Ю.В.

В статье приведены исследования горелых пород шахтных отвалов, золошлаковых отходов и глинистого сырья в целях использования их в технологии керамического кирпича. Приведены показатели их качества. По свойствам и составу это сырье близко к глинистому. Разработаны составы и технологические режимы изготовления керамического кирпича с использованием горелых пород шахтных отвалов и золошлаковых отходов. Приведены результаты лабораторных исследований и промышленных испытаний. Доказана возможность применения этого техногенного сырья в технологии керамического кирпича. Применение горелых пород и золошлаковых отходов в составах для керамического кирпича позволяет повысить качество кирпича, увеличить прочность и морозостойкость марки, и по всем показателям опытные образцы керамического кирпича соответствуют требованиям нормативной документации.

Вовлечение техногенного сырья в производство позволяет экономить часть природного сырья, снизить стоимость продукции при улучшении ее качества, способствует снижению негативного влияния отходов на окружающую среду в районах их размещения.

Ключевые слова: техногенное сырье, горелые породы шахтных отвалов, золошлаковая смесь, технологические режимы, керамический кирпич, прочность и морозостойкость керамического кирпича.

USE OF TECHNOGENIC RAW MATERIALS IN THE TECHNOLOGY OF CERAMIC BRICKS PRODUCTION

N.I. Buravchuk, Head of Laboratory, Southern Federal University (SFEDU),
Doctor of Chemistry, nburavchuk@sfedu.ru

O.V. Guryanova, Senior Researcher Southern Federal University (SFEDU),
guryanovaolga@mail.ru

The article presents the results of a study of burnt rocks of mine dumps, ash and slag waste and clay raw materials for the purpose of their use in the technology of manufacturing ceramic bricks. Indicators of their quality are given. In terms of properties and composition, this raw material is close to clay. Compositions and technological modes for the manufacture of ceramic bricks using burnt rocks of mine dumps and ash and slag waste have been developed. The results of laboratory research and industrial tests are presented. The possibility of using this technogenic raw material in the technology of manufacturing ceramic bricks has been proven. The use of burnt rocks and ash and slag waste in the compositions for the manufacture of ceramic bricks can improve its quality, including strength and frost resistance. In all respects, prototypes of ceramic bricks meet the requirements of regulatory documents. The involvement of technogenic raw materials in

production allows you to save part of natural raw materials, reduce the cost of products while improving their quality, and help reduce the negative impact of waste on the environment in the areas of their location.

The involvement of technogenic raw materials in production allows you to save part of natural raw materials, reduce the cost of products while improving their quality, and help reduce the negative impact of waste on the environment in the areas where they are located.

Keywords: technogenic raw materials, burnt rocks of mine dumps, ash and slag mixture, technological modes, ceramic bricks, strength and frost resistance of ceramic bricks.

Введение

Керамическая промышленность развивается, создавая и заполняя новые ниши в меняющихся условиях. Керамические изделия имеют практически неограниченный срок службы. Такие изделия, как стеновой кирпич, керамическая черепица, фасадные и облицовочные плитки, художественная и гончарная керамика и др., по цвету, фактуре, форме архитектурно более выразительны, долговечны. Керамический кирпич остается основным материалом стеновой керамики. Сооружения из керамических материалов воспринимаются как престижные, их эстетическая привлекательность с течением времени сохраняется.

Керамическая промышленность, как и другие направления промышленности строительных материалов, испытывает дефицит минерального сырья в связи с истощением природных запасов. Кроме того, качество природного сырья зачастую снижается. Сырье приходится корректировать добавками или другими видами сырья, например техногенным.

Развитие современных инновационных технологий производства строительных материалов в XXI в. предопределяет использование в качестве дополнительных источников сырья техногенных отходов. Это обусловлено, с одной стороны, истощением запасов природного сырья, с другой – интенсивным накоплением промышленных отходов. При значительных объемах техногенных скоплений уровень их утилизации невысок. Однако современные технологии позволяют использовать техногенное сырье как один из перспективных ресурсов для отдельных отраслей производства материалов нового качества, с лучшими потребительскими свойствами.

Основным потребителем промышленных отходов может быть строительная индустрия. В этом направлении производственной деятельности человечество использует природные ресурсы, максимально готовые к употреблению, так как они требуют минимальных затрат труда. Извлечение природных ресурсов из взаимосвязанных естественных состояний, где их присутствие обеспечивает равновесие и устойчивость окружающей среды, вносит дисбаланс в систему самоорганизационных процессов геосистемы. Уменьшить это разбалансирование можно изменением природной сырьевой базы стройиндустрии путем пополнения ее сырьем нового вида – техногенным. Ценность техногенного сырья при изготовлении строительных материалов может быть значительной.

К техногенному сырью, наиболее близкому по составу и свойствам к глинистому сырью, используемому в технологии керамических изделий, относятся шахтные породы и золошлаковые отходы. Имеющиеся разработки [1–8] по изготовлению строительных материалов из пород шахтных отвалов и золошлаковых отходов свидетельствуют о технико-экономическом интересе, который вызывает этот вид техногенного сырья. Это связано, во-первых, с имеющимися огромными запасами шахтных пород и золошлаковых отходов во всех угледобывающих регионах, во-вторых, с обострившейся экологической ситуацией вблизи шахтных терриконов и золоотвалов, в-третьих, с поисками нового минерального сырья, равноценного по качеству и свойствам традиционному, но более доступного и дешевого. Однако широкого вовлечения в производство запасов сырья из отвалов пока не происходит. Основные причины этого – неоднородность состава и свойств пород, отсутствие информации

об их экологической безопасности, необходимость дополнительных затрат на их обогащение при переработке.

Методика

Для использования золошлаковых отходов и горелых пород в технологии изготовления керамического кирпича были отобраны технологические пробы техногенного и глинистого сырья и проведена комплексная оценка качества техногенного сырья. Отбор проб породной массы проводился в соответствии с указаниями общепринятых методик и требованиями нормативных документов. В основу опробования отвала положен принцип отбора точечных проб. Общий вес отобранной из отвала породной массы составил примерно 200–250 кг.

Усредненные пробы составлялись из точечных проб путем тщательного перемешивания. На лабораторно-аналитические исследования отбирались усредненные пробы методом квартования. Выполнены аналитико-лабораторные исследования. Этот подход заключается в получении первичной информации о химическом и вещественном составе сырья. В дальнейшем проведены физико-механические и технологические испытания. Отрабатываются технологические режимы, которые затем проверяются и корректируются в опытно-промышленных условиях при выпуске опытной партии керамического кирпича.

По результатам всех исследований и испытаний откорректирован технологический регламент производства керамического кирпича с использованием горелых пород шахтного отвала и золошлаковых отходов.

Результаты

Характерная особенность Ростовской обл. – многочисленные терриконы, хвостохранилища, золоотвалы, в которых складированы огромные запасы шахтных пород и золошлаковых отходов. Глинистое сырье в Ростовской обл. представлено в основном суглинками и низкодисперсными глинами, из которых трудно получить керамические изделия повышенной прочности и морозостойкости. Проблема улучшения качества глинистого сырья для производства керамических изделий существует не только для Ростовской обл., но и для других регионов страны. Одним из способов регулирования технологических свойств глинистого сырья является использование корректирующих добавок. Цель данной работы заключается в установлении возможности использования горелых пород шахтных отвалов и золошлаковых отходов в технологии изготовления керамических изделий.

Объект исследования данной работы – горелые шахтные породы отвала № 2/1 шахты им. Артема и золошлаковая смесь Артемовской ТЭЦ. Это продукты термического воздействия на углевмещающие породы и минеральные составляющие углей. Условия образования этих материалов различны. Горелые породы образуются при длительном самообжиге угленосных пород, который происходит в терриконах – конусообразных отвалах вблизи угольных шахт – при температуре 600–1000 °С. Под влиянием кислорода воздуха происходит самопроизвольное выгорание органических веществ и серы, продолжающееся десятки лет. У горелых пород содержание углистых примесей не превышает 5,0 %. Хорошо обожженные горелые породы однородного сложения, с плотной структурой и гладкой камневидной поверхностью в изломе из отвалов антрацитовых углей отличаются повышенной механической прочностью, стойкостью к истиранию, температурным и атмосферным воздействиям.

По литологическому составу породной массы отвал № 2/1 шахты им. Артема – глинистый. Он представлен глинистыми (аргиллито-алевролитовыми) породами, встречаются также песчано-глинистые, слабопесчанистые, углистые и глинистые сланцы, песчаники. Глинистая составляющая по составу – гидрослюдистая, с примесью каолинита и хлорита. Глины в угольных пластах настолько уплотнились под влиянием горного давления, что утратили пластичность.

Золошлаковые отходы – это продукт сжигания угля в топках котлов при температурах выше 1000 °С, вплоть до 1700 °С. По химическому, гранулометрическому и фазово-минералогическому составу эти отходы во многом идентичны природному минеральному сырью.

В золах и горелых породах присутствуют основные группы веществ: кристаллические, аморфные и органические. Аморфная составляющая зол представлена стеклофазой и аморфизованным глинистым веществом – метакаолинитом, аморфным кремнеземом и глиноземом. При исследовании отходов методами физико-химического анализа установлено, что кристаллическая фаза золы и горелой породы включает слабоизмененные зерна минералов исходного топлива: кварца и его модификаций, полевых шпатов и прочих термически устойчивых минералов. Встречаются кристаллические новообразования, возникшие при сжигании топлива (муллит, гематит, магнетит, силикаты кальция и др.). Несгоревшие частицы топлива, присутствующие в качестве примесей, в разной степени метаморфизованы, отличны от исходного состояния и присутствуют в виде кокса, полукокса и графитизированного углистого вещества. Продукты коксования (полукоксовые и коксовые остатки) стойки к окислению и долговечны при воздействии влаги и перепада температуры.

В качестве глинистой составляющей в керамических массах использовано сырье III участка Октябрьского месторождения. В табл. 1 приведены усредненные данные по химическому составу исходных компонентов шихты.

Таблица 1

Химический состав компонентов керамических масс

Наименование пробы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ общ.	CaO	MgO	SO ₃ общ.	TiO ₂	K ₂ O + Na ₂ O	П.п.п.*
Глина Октябрьского месторождения (III участок)	58,25	12,35	4,42	8,48	1,94	0,21	0,66	3,44	10,14
Золошлаковая смесь Артемовской ТЭЦ	52,63	20,73	5,06	2,12	1,76	0,77	0,55	4,77	11,5
Горелая порода отвала 2/1 шахты им. Артема	53,89	22,53	6,02	1,22	1,53	2,11	1,19	5,19	3,95

* П.п.п. – потери при прокаливании.

Химический состав исследуемого техногенного сырья представлен в основном оксидами кремния, алюминия и железа, и по модулю основности, учитывающему соотношение глинозема и кремнезема, исследуемое техногенное сырье относится к кислому, с высоким содержанием красящих оксидов. По химическому, гранулометрическому и фазово-минералогическому составу эти отходы во многом идентичны природному минеральному сырью. Состав горелых пород и золошлаковых отходов и их свойства нестабильны. Это один из главных сдерживающих факторов для широкомасштабного использования этого техногенного сырья. Однако при соблюдении рекомендуемых технологических приемов при подготовке и переработке отходов из них может быть получена качественная продукция.

Глинистое сырье представлено суглинками. Цвет глин меняется от желтого до темно-бурого с белыми включениями. Глинистое сырье вскипает при обработке 10 %-ным раствором соляной кислоты. Структура глин – разнотельная и агрегативно-зернистая, неоднородная, некоторые отдельные агрегаты сцементированы между собой, в сухом виде с трудом разламываются руками. Текстура глинистой породы беспорядочна: рыхлая, комковатая.

Основными примесями данного глинистого сырья являются кварцевый песок, карбонаты, железистые соединения, зерна полевого шпата, органические примеси, растительные остатки. Карбонатная составляющая представлена в основном органоминеральным кальцитом, встречается в глине в виде тонкодисперсных равномерно распределенных пылеватых частиц, рыхлых примазок и скоплений, плотных каменистых включений. Рыхлые примазки

и скопления при механической обработке разрушаются и превращаются в равномерно распределенную тонкодисперсную примесь, и поэтому они существенно не влияют на свойства глины и качество обожженного черепка. Глинистая часть представлена гидрослюдистой составляющей с незначительной примесью каолинита и монтмориллонита. Пылеватая фракция представлена в основном кремнеземом, углекислым кальцием, оксидами железа, песчаная – кварцем. По степени пластичности данные суглинки относятся к группе среднепластичного сырья, по чувствительности к сушке – к группе высокочувствительного глинистого сырья. По огнеупорности суглинки относятся к группе легкоплавкого сырья (температура плавления – 1130 °С), по степени спекания – к группе неспекающегося глинистого сырья. В температурном интервале 900–1100 °С огневая усадка составила 0,2–0,8 %, общая усадка – 10,8–11,0 %, кажущаяся плотность – 1,96–2,04 г/см³, водопоглощение – 13,7–14,9 %. Формовочная влажность находится в пределах 26,5–28,5 %. Формовочная способность глинистого сырья – удовлетворительная.

Сушильные свойства сырья определяли по методу А.Ф. Чижского [9] на образцах-плитках размером 160 × 160 × 10 мм. На рис. 1 приведены результаты графического определения критической влажности глины, используемой для расчета коэффициента чувствительности глины к сушке.

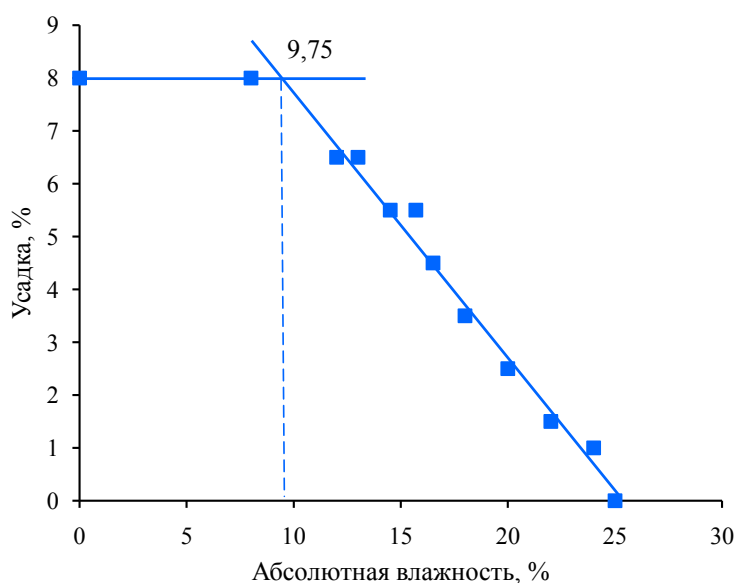


Рис. 1. Графический способ определения критической влажности глины III участка Октябрьского месторождения по методу А.Ф. Чижского

Коэффициент чувствительности к сушке вычислялся по формуле:

$$K_{\text{ч}} = (W_{\text{н}} - W_{\text{к}}) / W_{\text{к}}$$

В соответствии с классификацией Научно-исследовательского института керамики используемое глинистое сырье по чувствительности к сушке ($K_{\text{ч}} = 1,63$) относится к группе высокочувствительного глинистого сырья. Линейная воздушная усадка исследуемого суглинка составила 10,0 %.

В табл. 2 приведены результаты испытаний свойств глины после обжига.

Таблица 2

Физико-механические свойства свойства обожженных образцов глины

Проба	Температура обжига, °С	Огневая усадка, %	Прочность на сжатие, кг/см ²	Прочность при изгибе, кг/см ²	Объемная масса, кг/м ³	Водопоглощение, %
Глина	970	0,55	254,1	32,3	1986	14,88
		0,53	226,2	28,7	1974	14,80
		0,53	224,7	26,5	1975	14,73
Среднее значение		0,54	235,0	29,17	1978	14,80

По степени пластичности испытываемая глина относится к группе среднепластичного глинистого сырья, число пластичности – 23,0–26,2%. В данном случае глина отличается повышенным содержанием пылеватых частиц, высокой пластичностью и чувствительностью к сушке, наличием карбонатных включений.

Для снижения усадочных свойств глины вводились отошующие добавки: золошлаковая смесь и отсев дробленой горелой породы шахтного отвала. Для снижения влияния вредных включений на качество керамического кирпича рекомендуется тонкое измельчение глинистого сырья на камневыделительных вальцах.

Горелые породы шахтного отвала подвергались дроблению. В составах шихты для кирпича использовалась фракция 0–3 мм. Рекомендуемый гранулометрический состав отсева дробления шахтной породы: 2,0–0,5 мм – 50%, менее 0,5 мм – 45%, содержание частиц свыше 2 мм – 5%. Золошлаковая смесь использовалась без особой подготовки, кроме подсушивания. Зерновой состав – в пределах 0–3 мм. Влажность отошующих добавок – 2–3%. Экспериментальные составы керамических масс приведены в табл. 3.

Таблица 3

Составы шихты для керамического кирпича

Номер состава	Компоненты, вес. %		
	Суглинок	Золошлаковая смесь	Горелая порода
1	62,0	25,0	13,0
2	60,0	20,0	20,0
3	64,0	22,0	14,0
4	66,0	18,0	16,0
5	58,0	24,0	18,0

Компоненты смешивали, увлажняли до формовочной влажности по технологии пластического формования, после 5-суточного вылеживания шихты формовали образцы: кубы с размером ребра 50 мм – для определения прочности на сжатие; балочки размером 160 × 40 × 40 мм – для испытания прочности на изгиб; плиточки – для оценки усадочных изменений при сушке и обжиге. Значения коэффициента чувствительности к сушке опытных составов шихты находились в пределах 0,98–1,16.

После сушки образцов до остаточной влажности 3–4% их подвергали обжигу. Максимальная температура обжига образцов составляла 970 °С.

Образцы после обжига дефектов не имеют. Структура черепка – плотная. Образцы – терракотового и кирпично-красного цвета, цвет равномерно распределен, налет отсутствует, в изломе сердцевина светло-серого цвета. Появление такого цвета связано с присутствием закисных форм железа. Известковые включения отсутствуют.

Результаты испытаний образцов пяти опытных составов керамических масс приведены в табл. 4.

Таблица 4

Физико-механические свойства опытных составов керамических масс после обжига

№ состава	Максимальная температура обжига, °С	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Общая усадка, %	Водопоглощение, %	Объемная масса, кг/м ³
1	970	23,85	5,06	4,9	18,9	1746
2		27,70	5,27	5,2	20,3	1762
3		19,88	4,46	5,8	18,5	1744
4		25,00	5,50	6,6	18,2	1785
5		21,98	5,05	5,3	18,7	1766

Добавки золошлаковых отходов и отсеков дробления горелых пород оказывают положительное влияние на сушильные свойства керамических масс: снижается коэффициент чувствительности к сушке на 39,9 %, уменьшается общая усадка на 53,5 %. Формовочная влажность масс находится в пределах 21,6–24,4 %. По прочности при сжатии образцы соответствуют маркам кирпича М200, М250, при изгибе – марке М300.

На технологической линии и оборудовании ООО «Шахтинский кирпичный завод» проведены производственные испытания. Выпущены опытные партии керамического кирпича составов № 2 и 4.

Подготовка суглинки, отошающих добавок и шихты проведена по технологии, принятой на заводе. Экспериментальные кирпичи были изготовлены из составов, подобранных при лабораторных исследованиях. Формование осуществлялось на ленточном вакуум-прессе СМК-325 методом экструзии. Резка бруса полнотелого кирпича, выходящего из мундштука, осуществляется резательным автоматом СП-5М. Глубина вакуума в вакуум-прессе составляла 93 МПа.

После формования кирпич-сырец автоматом-укладчиком укладывался на рамы и подавался в туннельные сушилки. Отформованные изделия сушили в туннельной прямоточно-противоточной сушилке с верхним подводом и отводом теплоносителя в течение 48 ч. Высушенные до влажности 6–9 % кирпичи направлялись на обжиг в туннельную печь. Кирпич обжигали в туннельной печи в течение 38 ч. Максимальная температура обжига – 925–930 °С. Время выдержки при максимальной температуре – 1 ч 50 мин.

Результаты испытаний керамического кирпича опытных партий приведены в табл. 5.

Таблица 5

Физико-механические свойства керамического кирпича опытных партий

Номер состава	Прочность, МПа		Объемная масса, кг/м ³	Водопоглощение, %	Морозостойкость, марка
	Сжатие	Изгиб			
2	26,6	4,85	1720	16,8	F50
4	23,8	4,73	1756	18,3	F50

По показателям прочности (при сжатии и изгибе) партии кирпичей соответствуют маркам 200 и 250. При испытании кирпича на морозостойкость повреждений не наблюдалось. Керамические кирпичи пластического прессования выдержали 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания и по морозостойкости соответствуют марке F50.

Обсуждение

Золошлаковая смесь использовалась в основном как топливосодержащая добавка, улучшающая гранулометрический состав шихты и оказывающая пластифицирующий эффект. Отсевы дробления шахтной породы влияют на формирование структурного каркаса шихты и как отошающая добавка, изменяющая сушильные свойства керамической массы.

Керамические массы из различных сырьевых материалов имеют общие закономерности физико-химических превращений при их термической обработке [10, 11]. Важнейшими из них являются: разложение и превращение минералов исходного сырья, химическое взаимодействие их компонентов, явления, происходящие на контакте зерен в присутствии жидкой фазы, растворение твердых частиц в расплаве, образование новых кристаллических соединений и т. д.

Совместное введение двух видов отходов наиболее благоприятно влияет на свойства готовых изделий. Мелкозернистые и тонкодисперсные фракции породы и золошлаковой смеси являются не только отошающей, снижающей чувствительность шихты к сушке, но и легкоплавкой добавкой.

Содержание оксидов железа, углистой составляющей, щелочных оксидов интенсифицирует процесс спекания черепка и способствует образованию легкоплавких соединений и кристаллизации новообразований на ранней стадии обжига. В результате температура обжига снижается на 50–80 °С, повышаются механическая прочность и другие характеристики керамических изделий.

По физико-механическим свойствам (присутствие коксовых остатков, аморфизованных глинистых минералов, стеклофазы и т. д.) горелые породы и золошлаковые смеси в составе керамических масс выполняют роль микронаполнителя, плавня, углесодержащей составляющей. Введение таких комплексных добавок интенсифицирует процесс спекания сырьевых смесей за счет образования легкоплавких эвтектик, увеличения стекловидной фазы и подвижности силикатного расплава, его реакционной способности. Взаимодействие оксидов основных минералов в исследуемых системах начинается еще в твердой фазе (до 700 °С), продолжается в расплаве и заканчивается упрочнением структуры в результате интенсивной кристаллизации (950–970 °С) соединений, что придает изделиям прочность, плотность, термостойкость, огнеупорность, морозостойкость и другие ценные свойства. Нарастание прочности черепка изделий при максимальных температурах обжига в пределах 950–1050 °С объясняется как влиянием вновь образующихся соединений, так и действием расплава, который благодаря энергии поверхностного натяжения сближает и связывает частицы массы в монолит. Структура керамического кирпича – плотная и однородная (рис. 2).

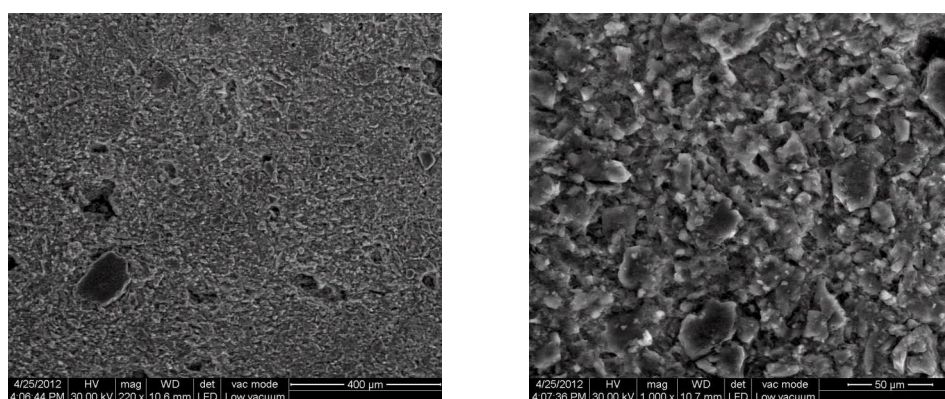


Рис. 2. Микроструктура керамического черепка с добавками горелых пород и золошлаковых смесей:

а) увеличение – 220х; разрешение – 400 µм; б) увеличение – 1000х; разрешение – 50 µм

Оптимально подобранные зерновой и минеральный состав шихты, режимы формования и обжига способствуют уменьшению чувствительности шихты к сушке, расширению интервала спекания, исключению образования напряжений в структуре материала, снижению усадки, получению плотного керамического черепка повышенной прочности, морозостойкости, минимизации процента брака готовых изделий.

Заключение

Полученные положительные результаты лабораторных исследований и производственных испытаний подтверждают возможность применения горелых пород шахтных отвалов и золошлаковых смесей в технологии изготовления керамического кирпича, получении качественной продукции, соответствующей требованиям нормативных документов. Хорошая формуемость масс с добавками отсевов дробленой горелой породы и золошлаковой смеси обеспечивает правильность формы и точность размеров изделий. Это позволяет применять их в производстве фасонных изделий, к которым предъявляются жесткие требования в отношении правильности формы и точности размеров, а также повышенной плотности.

Исследуемое техногенное сырье можно использовать также в технологии полусухого прессования. Формовочная влажность для полусухого прессования составляет 7–9 %, давление прессования – 30–35 МПа, температура обжига – 980–1000 °С.

Огнеупорность горелых пород шахтных отвалов – 1250–1380 °С. В технологии производства огнеупорных изделий они могут заменить дорогостоящий шамот, который получают обжигом каолинита.

С использованием в области на некоторых отвалах дробильно-сортировочных комплексов по переработке и подготовке кондиционного сырья из горелых пород у предприятий стройиндустрии появляется реальная возможность более широко использовать это сырье в производстве строительной керамики и огнеупоров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Южного федерального университета, 2020 г. (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации) по проекту ВнГр-07/2020-04-ИМ.

Список литературы

1. Абдрахимова Е.С. Использование отходов топливно-энергетического комплекса – горелых пород и отходов обогащения хромитовых руд в производстве пористых заполнителей на основе жидкостекольной композиции // Уголь. 2019. № 7. С. 67–69.
2. Римкевич В.С., Пушкин А.А., Чурушова О.В. Комплексная переработка золы ТЭЦ // Горный информ.-аналит. бюл. (науч.-техн. журнал). 2015. № 6. С. 250–259.
3. Федорова Н.В., Шафорост Д.А. Перспективы использования золы – уноса тепловых электростанций Ростовской области // Теплоэнергетика. 2015. № 1. С. 53–58.
4. Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В., Сейкин А.И., Баннова С.Е. Возможности использования горелых пород в строительстве // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 11. С. 41–48.
5. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В., Окороков Е.П., Павлова Л.Н. Использование техногенного сырья в технологии керамических материалов и изделий // Экологический вестник России. 2012. № 9. С. 38–45.
6. Мнухин А.Г. Породные отвалы – сырье будущего // Уголь Украины. 2009. № 5. С. 28–32.
7. Коваленко Л.И., Омельченко Н.П. Перспективы использования горелых пород шахтных отвалов // Проблеми екології. 2009. № 1–2. С. 16–19.
8. Буравчук Н.И. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. 224 с.
9. Книгина Г.И., Вершинина Э.Н., Тацки Л.Н. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей. М.: Высшая школа, 1985. С. 91–94.
10. Салахов А.М., Кабиров Р.Р., Морозов В.П. и др. Исследование структуры и фазового состава глины в процессе их термической обработки // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 18–22

11. Абдрахимов В.З., Денисов Д.Ю. Исследование фазовых превращений на различных этапах обжига керамзита из межсланцевой глины // Изв. вузов. Строительство. 2011. № 10. С. 34–42.

References

1. Abdrakhimova E.S. (2019) *Ispol'zovanie otkhodov toplivno-energeticheskogo kompleksa – gorelykh porod i otkhodov obogashcheniya khromitovykh rud v proizvodstve poristykh zapolniteley na osnove zhidkostekol'noy kompozitsii'* [The use of fuel and energy complex waste – burnt rocks and waste of chromite ore dressing in the production of porous aggregates based on liquid glass composition] *Ugol* [Coal]. No. 7. P. 67–69.

2. Rimkevich V.S., Pushkin A.A., Churushova O.V. (2015) *Kompleksnaya pererabotka zoly TETs* [Complex ash processing of CHPP] *Gornyy inform.-analit. byul. (nauch.-tekhn. zhurnal)* [Gorny inform.-analyt. bul. (Scientific and technological journal)]. No. 6. P. 250–259.

3. Fedorova N.V., Shaforost D.A. (2015) *Perspektivy ispol'zovaniya zoly – unosa teplovykh elektrostantsiy Rostovskoy oblasti* [Prospects for the use of ash – carryover from thermal power plants of the Rostov region] *Teploenergetika* [Teploenergetika]. No. 1. P. 53–58.

4. Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V., Seikin A.I., Bannova S.E. (2015) *Vozmozhnosti ispol'zovaniya gorelykh porod v stroitel'stve Rossii* [Possibilities of using burnt rocks in construction] *Ekologiya i promyshlennost'* [Ecology and Industry of Russia]. Vol. 19. No. 11, P. 41–48.

5. Buravchuk N.I., Guryanov O.V., Okorokov E.P., Pavlova L.N. (2012) *Ispol'zovanie tekhnogennoy syr'ya v tekhnologii keramicheskikh materialov i izdeliy* [The use of technogenic raw materials in the technology of ceramic materials and products] *Ekologicheskyy vestnik Rossii* [Ecological Bulletin of Russia]. No. 9. P. 38–45.

6. Mnukhin A.G. (2009) *Porodnye otvaly – syr'e budushchego* [Rock dumps – raw materials of the future] *Ugol' Ukrainy* [Coal of Ukraine]. No. 5. P. 28–32.

7. Kovalenko L.I., Omelchenko N.P. (2009) *Perspektivy ispol'zovaniya gorelykh porod shakhtnykh otvalov* [Prospects for the use of burnt rocks in mine dumps] *Problemi ekologii* [Ecological Problems]. No. 1–2. P. 16–19.

8. Buravchuk N.I. (2009) *Resursoberezhenie v tekhnologii stroitel'nykh materialov* [Resource saving in building materials technology] *Izd-vo YuFU* [SFedU Publishing House]. Rostov-on-Don. P. 224.

9. Knigina G.I., Vershinina E.N., Tatski L.N. (1985) *Laboratornye raboty po tekhnologii stroitel'noy keramiki i iskusstvennykh poristykh zapolniteley* [Laboratory work on the technology of building ceramics and artificial porous aggregates] *Vysshaya shkola* [Higher school]. Moscow. P. 91–94.

10. Salakhov A.M., Kabirov R.R., Morozov V.P. et al. (2017) *Issledovanie struktury i fazovogo sostava glin v protsesse ikh termicheskoy obrabotki* [Investigation of the structure and phase composition of clays in the process of their heat treatment] *Stroitel'nye materialy* [Construction materials]. No. 9. P. 18–22.

11. Abdrakhimov V.Z., Denisov D.Yu. (2011) *Issledovanie fazovykh prevrashcheniy na razlichnykh etapakh obzhiga keramzita iz mezhslantsevoy gliny* [Study of phase transformations at different stages of firing expanded clay from interschist clay] *Izv. vuzov. Stroitel'stvo* [News of the Universities. Construction]. No. 10. P. 34–42.