

УДК 691.42

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-1-160-167

*Ю.А. БОЖКО, К.А. ЛАПУНОВА,
Академия строительства и архитектуры
Донского государственного технического университета*

ОСОБЕННОСТИ СПЕКАЕМОСТИ ОПОКОВИДНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ

Проведены исследования по использованию опоковидных пород в производстве лицевого керамического кирпича. Анализ отобранных проб глинистых и среднеглинистых опок показал, что они являются неспекающимся сырьем. Определено, как влияет температура обжига на показатели средней плотности черепка. Выявлена связь температуры обжига и вещественного состава с водопоглощением изделий, а также связь водопоглощения, плотности и огневой усадки. В ходе лабораторных испытаний по спекаемости кремнистых опок установлено, что изделия из этого сырья имеют низкие показатели средней плотности, но высокие по усадке при обжиге, водопоглощению и пористости. В заключение делается вывод о пригодности данного вида сырья для производства керамического облицовочного кирпича.

Ключевые слова: керамический кирпич; опоковидное сырье; спекаемость; средняя плотность; водопоглощение; морозостойкость.

Для цитирования: Божко Ю.А., Лапунова К.А. Особенности спекаемости опоковидных пород при производстве изделий стеновой керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 1. С. 160–167.

*Yu.A. BOZHKO, K.A. LAPUNOVA,
Rostov State University of Civil Engineering*

SILICA ROCK SINTERING IN WALL CERAMICS PRODUCTION

The paper presents research results on the use of silica rock in the production of lining ceramic brick. The analysis of clay samples showed that they are non-sintering raw materials. The dependence is obtained between the firing temperature and the average density of ceramic brick. It is shown that the firing temperature depends on the material composition with the product water absorption. The relationship is detected between the firing shrinkage, density, and water absorption. The experiments on silica rock sintering show that the ceramic brick made therefrom has a low average density, increased firing shrinkage, porosity and water absorption. Silica raw materials can be used in the ceramic brick production.

Keywords: ceramic brick; silica rock; sintering; average density; water absorption; frost resistance.

For citation: Bozhko Yu.A., Lapunova K.A. Osobennosti spekaemosti opokovidnykh porod pri proizvodstve izdelii stenovoi keramiki [Silica rock sintering in wall ceramics production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 1. Pp. 160–167. (rus)

В результате проведенных ранее исследований была доказана высокая перспективность использования опок для производства стеновых керамиче-

ских изделий различного назначения – рядового и лицевого кирпича, высокопустотных керамических блоков, доборных элементов и т. д. Установлен тот факт, что изделия из среднеглинистых и глинистых опок, произведенные методом пластического формования, показывают лучшие результаты, чем при других способах производства [1–4]. Известно, что от гранулометрического и вещественного составов сырья зависит важный показатель качества сырья – спекаемость [4, 5]. В научном плане процессы спекания опок плохо изучены, поэтому определение особенностей процесса спекания опоковидных пород будет способствовать оптимизации процесса обжига при производстве изделий с улучшенными физико-техническими свойствами.

Процесс огневой усадки протекает с уменьшением размеров сухого образца при обжиге. Глинистое сырье имеет показатели огневой усадки до 8 %. Определить степень спекания можно несколькими способами, которые основаны на изменении плотности и пористости материала [6]. Спекаемость для керамического черепка определяют в результате испытаний, описанных в ГОСТ 21216–2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний» п. 5.27. Данный метод базируется на определении показателей водопоглощения, усадки и кажущейся плотности. Образцы обжигаются при определенных интервалах температур, и для каждого вида сырья они устанавливаются в зависимости от свойств сырья. Чаще всего легкоплавкое сырье обжигается при 900–1100 °С. Сближение частиц обжигаемого материала проходит во время появления жидкой фазы, а нерасплавившиеся частицы смачиваются при этом и притягиваются друг к другу под воздействием сил поверхностного натяжения. Согласно определению по ГОСТ 9196–75 «Сырье глинистое для керамической промышленности» спекающимся является сырье, дающее в результате черепок без признаков пережога с водопоглощением менее 5 %.

Для проведения испытаний были отобраны пробы пяти месторождений опоковидных пород: Каменоломненское, Степан-Разинское, Шедокское, Шевченковское, Бекешевское.

Нами были взяты и подготовлены пробы опок фракционного состава 0–2,5 мм, зерновой состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав отобранных проб

Содержание фракций, мм, %				
2,5–1,25	1,25–0,63	0,63–0,315	0,315–0,16	< 0,16
13–17	19–24	16–21	17–22	23–28

Для обжига был выбран интервал от 900 до 1100 °С. Связано это, прежде всего, с тем, что большинство заводов керамической отрасли работает именно в этих интервалах температур, что благоприятно влияет на качество готовых изделий [6, 7]. В табл. 2 описаны данные результатов определения спекаемости глинистых и среднеглинистых опок для выбранных месторождений.

В результате проведенных нами исследований было установлено, что при обжиге опок и опоковидных пород не получается черепок с водопоглощением менее 5 % без признаков пережога, соответственно, данное сырье является не-

спекающимся. Проанализировав все полученные результаты, авторы выявили определенные закономерности, присущие опокам. Сначала было отмечено, что готовые изделия на основе глинистых опок обладают показателем средней плотности 1400–1620 кг/м³. Этот показатель гораздо меньше, чем у глинистого сырья. Столь большой интервал плотности можно объяснить не только свойствами опок, но и разнообразием состава [7]. С учетом того, что средняя плотность глиняного черепка изделий стеновой керамики составляет от 1700 до 2000 кг/м³, черепок на основе опок будет на 15–25 % менее плотным и обладать теплопроводностью от 0,35 до 0,5 Вт/м °С. На обжиг такого материала потребуется меньше энергоресурсов. Если уменьшить плотность черепка на 10 %, то расход топлива сократится на 6–8 % [8]. Данный процесс наглядно показывает прямую зависимость плотности от температуры обжига, ведь с ее увеличением до 1100 °С средняя плотность вырастает на 9–12 %.

Таблица 2

Результаты определения спекаемости

Название месторождения	Вид породы	Температура обжига, °С	Огневая усадка, %	Водопоглощение, %	Средняя плотность, кг/м ³
Каменноломненское	Среднеглинистые	900	1,4	31,2	1410
		950	2,1	28,7	1420
		1000	3,2	25,8	1450
		1050	4,1	23,7	1510
		1100	4,9	20,2	1560
Степан-Разинское	Среднеглинистые	900	1,9	28,3	1430
		950	3,1	25,7	1480
		1000	5,4	20,8	1510
		1050	6,7	16,4	1620
		1100	Пережог	Пережог	Пережог
Шедокское	Глинистые	900	1,8	24,1	1470
		950	2,9	21,3	1510
		1000	3,8	18,8	1540
		1050	4,6	17,8	1600
		1100	Пережог	Пережог	Пережог
Шевченковское	Глинистые	900	1,6	22,9	1490
		950	2,3	20,3	1520
		1000	3,8	18,8	1550
		1050	5,2	18,7	1580
		1100	Пережог	Пережог	Пережог
Бекешевское проявление	Высококарбонатно-глинистые опокovidные	900	5,2	16,4	1530
		950	5,7	14,8	1420
		1000	5,9	14,7	1440
		1050	6,0	12,6	1490
		1100	6,7	10,0	1510

Водопоглощение керамического стенового изделия на основе опок и опоковидных пород является повышенным и колеблется от 10 до 31 %. Такой широкий интервал обусловлен различным вещественным составом данного сырья и температурой, при которой они обжигались. Средние же значения приходятся на 20–30 %. Стеновые изделия на основе опок и опоковидных пород обладают высокой пористостью, и, как следствие, такие материалы имеют повышенную газо- и паропроницаемость [3]. Эти качества положительно сказываются на эксплуатационных характеристиках и позволяют зданиям «дышать», делая их более комфортными для проживания. Нам не удалось установить какую-либо зависимость морозостойкости и водопоглощения. Керамические изделия с повышенным коэффициентом водопоглощения не всегда с низкой маркой по морозостойкости. Во многом этот показатель зависит от характера пористости и дефектов изделия. На данный момент уже есть примеры производства пористо-пустотелых керамических камней (Porotherm, Kerakam) с водопоглощением более 20 % и морозостойкостью более 50 циклов [8]. В зависимости от назначения керамических изделий и требований, предъявляемых к ним, устанавливаются значения допускаемой открытой пористости. Для некоторых типов строительной керамики (напольная плитка, сантехнические изделия) водопоглощение полностью спекшегося черепка не должно быть более 4 %, а для керамического кирпича – не менее 6 %. Главным критерием выступают положения ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия», где указано, что для изделий из трепелов и диатомитов допускается водопоглощение не более 28 %. Данным требованиям отвечают изделия из среднеглинистых опок, обожженных при температуре 1000–1050 °С, а изделия из глинистых опок – выше 950 °С.

Прежде всего, водопоглощение связано с температурой при обжиге изделий. При её увеличении в диапазоне 900–1100 °С водопоглощение черепка может снизиться в 1,5 раза. Настолько широкий интервал связан с различным вещественным составом опок: чем выше температура, тем ниже водопоглощение.

Процесс изменения линейных размеров в сторону уменьшения при сушке и обжиге называется огневой усадкой. Она является количественной характеристикой процесса спекания и одним из видимых невооруженным глазом проявлений [9]. При огневой усадке появляются механические напряжения, противоположные напряжениям от термического расширения. Если керамическое сырье можно отнести к разряду спекающихся, то оно имеет линейную огневую усадку около 10–15 %, а это в 15–20 раз больше общего термического расширения. Огневая усадка позволяет наблюдать за поведением изделий при обжиге, предупреждая появление дефектов (посечек, трещин, отклонений от плоскости). Также на основе данных об огневой усадке можно подбирать температуру обжига, виды садки изделий в печь и проводить настройку технологической линии. При определении значения огневой усадки необходимо ориентироваться на возможную разницу температур в теле изделия при обжиге. Это необходимо знать для того, чтобы определить размеры формового сырца и готового изделия после сушки и обжига.

Опыты, проведенные в лабораторных условиях, показали, что опоки глинистые и среднеглинистые имеют высокую огневую усадку (5–7 %). При

этом температура обжига массы составляла 900–1100 °С. Эти показатели характерны для такого вида материала, т. к. он является микропористым. Можно обнаружить прямую зависимость от величины температуры и огневой усадки [10, 11]. Признаки пережога часто наблюдаются у изделий, обожженных при 1100 °С. На рис. 1 и 2 представлены зависимости огневой усадки, средней плотности и водопоглощения от температуры обжига для некоторых из исследуемых месторождений опок.

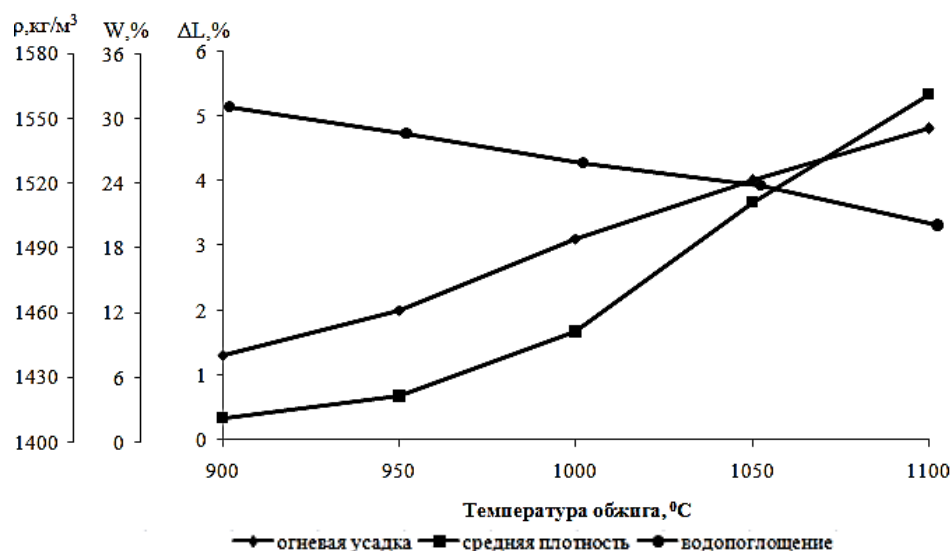


Рис. 1. Взаимозависимость огневой усадки, средней плотности и водопоглощения от температуры обжига для каменоломненской опоки

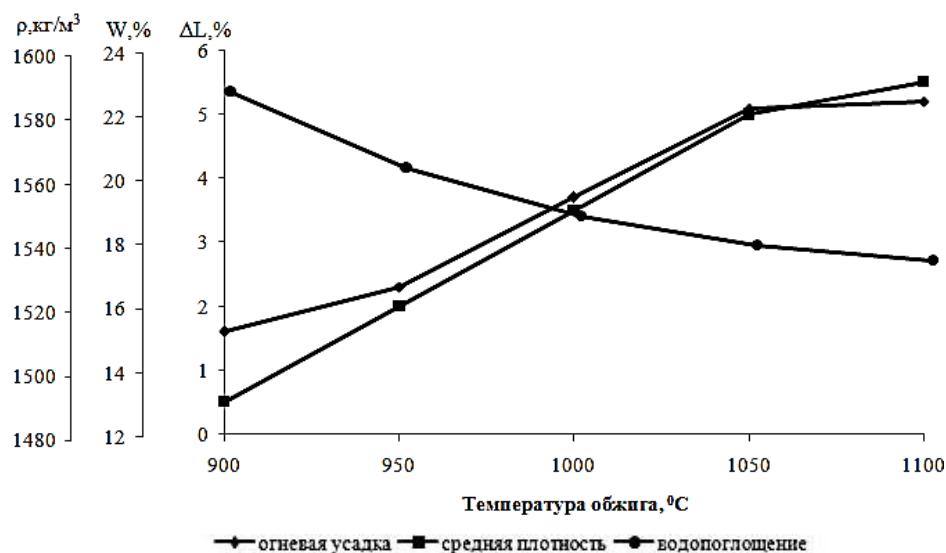


Рис. 2. Взаимозависимость огневой усадки, средней плотности и водопоглощения от температуры обжига для шевченковской опоки

Средняя плотность увеличивается с уменьшением линейных размеров образцов. В связи с этим зависимости линейной усадки от температуры обжига (кривые усадки) являются идентичными графикам изменения средней плотности и водопоглощения [11]. Аморфный реакционноспособный опаловый кремнезем, основной компонент опок, с повышением температуры вступает в реакцию с другими минералами. Этим и объясняется относительно плавный характер изменения вышеприведенных зависимостей [12].

Проведенные нами исследования по определению спекаемости опок и опоковидных пород установили, что черепок на их основе обладает пониженной средней плотностью, повышенными показателями водопоглощения, огневой усадки и пористости. Лицевой и рядовой кирпич на основе опоковидного сырья без ввода добавок обладает высоким пределом прочности при сжатии – более 20–30 МПа и пониженной средней плотностью около 1400 кг/м³, что обусловлено микропористостью. Керамические высокопустотные блоки имеют среднюю плотность менее 800 кг/м³ и предел прочности при сжатии 10–15 МПа.

Увеличение температуры обжига в большинстве случаев благоприятствует увеличению усадки и понижению показателей водопоглощения, в меньшей – повышению плотности. Впервые было доказано, что в карбонатных опоках при росте температуры обжига за счет опала, кальцита и глинистых минералов образуется волластонит, геленит и другие кальциевые алюмосиликаты. Лабораторные данные исследований имеют практическое значение для технологии производства изделий стеновой керамики на основе опоковидных пород различного вещественного состава. В силу широкой распространенности опоковидных пород на юге России, их использование для производства керамического кирпича с применением ресурсосберегающих технологий будет экономически выгодно и технологически обосновано как на новых заводах, так и на действующих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котляр, В.Д. Опоки – перспективное сырье для стеновой керамики / В.Д. Котляр, Б.В. Талпа // Строительные материалы. – 2007. – № 2. – С. 31–33.
2. Котляр, В.Д. Классификация кремнистых опоковидных пород как сырья для производства стеновой керамики / В.Д. Котляр // Строительные материалы. – 2009. – № 3. – С. 36–39.
3. Котляр, В.Д. Вещественный состав и дообжиговые керамические свойства глинистых опок / В.Д. Котляр, Д.И. Братский, А.В. Устинов // Инженерный вестник Дона. – 2010. – № 4.
4. Котляр, В.Д. Технологические особенности опок как сырья для стеновой керамики / В.Д. Котляр, К.А. Лапунова // Строительство. – 2009. – № 11–12. – С. 25.
5. Котляр, В.Д. Спекаемость глинистых опок при производстве керамического кирпича / В.Д. Котляр, А.В. Устинов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3 (21). – С. 588–591.
6. Котляр, В.Д. Особенности физико-химических преобразований при обжиге опоковидного сырья / В.Д. Котляр, К.А. Лапунова // Строительные материалы. – 2016. – № 5. – С. 40–42.
7. Опоковидные породы юга России и перспективные направления их использования в производстве строительных материалов / В.Д. Котляр, Ю.В. Терехина, А.В. Котляр, С.И. Шека // Новые технологии. – 2012. – № 4. – С. 24.

8. Ашмарин, Г.Д. Энерго- и ресурсосберегающая технология керамических стеновых материалов / Г.Д. Ашмарин, В.В. Курносов, В.Г. Ласточкин // Строительные материалы. – 2010. – № 4. – С. 24–28.
9. Барабанищikov, Ю.Г. Строительные материалы и изделия / Ю.Г. Барабанищikov. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – С. 107–108.
10. Божко, Ю.А. Стеновые керамические изделия на основе опок и отходов углеобогащения / Ю.А. Божко, М.В. Рогочая, В.Д. Котляр // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов : материалы XI Международной конференции молодых ученых. – Пенза : ПГУАС, 2016. – С. 157–159.
11. Котляр, В.Д. Влияние степени измельчения глинистых опок на свойства стеновой керамики / В.Д. Котляр, Д.И. Братский // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2010. – № 7. – С. 30–35.
12. Котляр, В.Д. Перспективы производства фигурного керамического кирпича на основе опок / В.Д. Котляр, К.А. Лапунова, Ю.В. Терёхина // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 3 (21). – С. 596–599.

REFERENCES

1. Kotlyar V.D., Talpa B.V. Opoki – perspektivnoe syr'e dlya stenovoi keramiki [Silica rock as promising raw material for wall ceramics production]. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 2. Pp. 31–33. (rus)
2. Kotlyar V.D. Klassifikatsiya kremnistykh opokovidnykh porod kak syr'ya dlya proizvodstva stenovoi keramiki [Classification of silica raw material for wall ceramics production]. *Stroitel'nye materialy*. 2009. No. 3. Pp. 36–39. (rus)
3. Kotlyar V.D., Bratskii D.I., Ustinov A.V. Veshchestvennyi sostav i doobzhigovye keramicheskie svoystva glinistykh opok [Material composition and properties of clayey silica before burning]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2010. No. 4. (rus)
4. Kotlyar V.D., Lapunova K.A. Tekhnologicheskie osobennosti opok kak syr'ya dlya stenovoi keramiki [Silica properties for wall ceramics production]. *Stroitel'stvo*. 2009. No. 11–12. Pp. 25. (rus)
5. Kotlyar V.D., Ustinov A.V. Spekaemost' glinistykh opok pri proizvodstve keramicheskogo kirpicha [Clayey opoka sintering in ceramic brick production]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2012. No. 3 (21). Pp. 588–591. (rus)
6. Kotlyar V.D., Lapunova K.A. Osobennosti fiziko-khimicheskikh preobrazovaniy pri obzhige opokovidnogo syr'ya [Physicochemical transformations during silica firing]. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 5. Pp. 40–42. (rus)
7. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V., Sheka S.I. Opokovidnye porod yuga Rossii i perspektivnye napravleniya ikh ispol'zovaniya v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Silica rocks at the South of Russia and promising trends in building material production]. *Novye tekhnologii*. 2012. No. 4. Pp. 24. (rus)
8. Ashmarin G.D., Kurnosov V.V., Lastochkin V.G. Energo- i resursosberegayushchaya tekhnologiya keramicheskikh stenovykh materialov [Energy-saving technology of ceramic wall materials]. *Stroitel'nye materialy*. 2010. No. 4. Pp. 24–28. (rus)
9. Barabanshchikov Yu.G. Stroitel'nye materialy i izdeliya [Building materials and products]. Moscow: Akademiya Publ., 2008. Pp. 107–108. (rus)
10. Bozhko Yu.A., Rogochaya M.V., Kotlyar V.D. Stenovye keramicheskie izdeliya na osnove opok i otkhodov ugleobogashcheniya [Silica and coal waste-based ceramic wall products]. *Proc. 11th Int. Conf. of Students and Young Scientists 'Theory and Practice of Efficiency Improvement of Building Materials'*. Penza: PGUAS, 2016. Pp. 157–159. (rus)
11. Kotlyar V.D., Bratskii D.I. Vliyanie stepeni izmel'cheniya glinistykh opok na svoystva stenovoi keramiki [Degree of clayey silica grinding affecting properties of wall ceramics]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2010. No. 7. Pp. 30–35. (rus)
12. Kotlyar V.D., Lapunova K.A., Terekhina Yu.V. Perspektivy proizvodstva figurnogo keramicheskogo kirpicha na osnove opok [Prospects of ceramic brick production based on silica clay]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2012. No. 3 (21). Pp. 596–599. (rus)

Сведения об авторах

Божко Юлия Александровна, аспирант, Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, ovdun_yrs@mail.ru

Лапунова Кира Алексеевна, канд. техн. наук, Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета, 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, keramik_kira@mail.ru

Authors Details

Yuliya A. Bozhko, Research Assistant, Rostov State University of Civil Engineering, 162, Sotsialisticheskaya Str., 344022, Rostov-on-Don, Russia, ovdun_yrs@mail.ru

Kira A. Lapunova, PhD, Rostov State University of Civil Engineering, 162, Sotsialisticheskaya Str., 344022, Rostov-on-Don, Russia, keramik_kira@mail.ru