

УДК 691.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕНОСИЛИКАТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

Воробьева А.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С.

*ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию влияния температуры вспенивания и времени выдержки на физико-механические свойства пеносиликатного материала, полученного на основе натриевой силикат-глыбы с добавлением мела в качестве газообразователя. На первом этапе исследований была определена температура перехода силиката натрия в пиропластическое состояние, равная 800°C. Затем был проведен ряд экспериментов по определению таких свойств полученного материала, как кажущаяся плотность в сухом состоянии, водопоглощение, а также открытая, закрытая и общая пористости, которые определялись по стандартным методикам. В результате проведенных исследований был установлен температурный режим, при котором на основе натриевой силикат-глыбы с добавлением 5% мела может быть получен теплоизоляционный материал с кажущейся плотностью 229 кг/м³.

Ключевые слова: пеносиликат, натриевая силикат-глыба, пиропластическое состояние, температура вспенивания, кажущаяся плотность, пористость

STUDY OF THE EFFECT OF TEMPERATURE REGIME ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES FOAMED SILICATE MATERIAL BASED ON RAW MATERIALS IN VLADIMIR REGION

Vorobyova A.A., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S.

*Federal Educational Institution of Higher Education Vladimir State University
of a name of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs,
Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

This article is devoted to the study of the influence of the foaming temperature and holding time on the mechanical properties foamed silicate material obtained on the basis of sodium silicate lump with the addition of chalk as a foamed agent. In the first stage of research were defined the transition temperature of sodium silicate in pyroplasticity condition equal to 800°C. This was followed by a series of experiments to determine such properties of the obtained material, as apparent density in a dry condition, water absorption and open, closed and total porosity were determined according to standard methods. In the investigation it was established the temperature regime in which, based on the sodium silicate lumps with the addition of 5% of chalk can be obtained by thermally insulating material apparent density of 229 kg/m³.

Keywords: foamed silicate, sodium silicate lump, pyroplasticity condition, temperature of foaming, apparent density, porosity

Производство строительных материалов и изделий является одной из динамично развивающихся отраслей промышленности, продукция которой пользуется широким спросом в связи с большими объемами строительства. В настоящее время производство строительных материалов направлено на разработку и применение энерго- и ресурсосберегающих технологий, позволяющих получить материал высокого качества при его низкой себестоимости [1, 5].

В связи с ростом цен на энергоносители также возникает необходимость в создании новых эффективных теплоизоляционных материалов [2]. В последнее время проводится большое количество исследований, направленных на получение материалов с низкой кажущейся плотностью, что обеспечивает им хорошие теплофизические характеристики [6, 7]. Большое внимание

в этом направлении уделяется материалам на основе жидкого стекла (силикат-глыбы), что объясняется сравнительно простой технологией и дешевизной сырьевых материалов, которые зачастую являются отходами различных химических производств, в том числе стекольных [4, 5].

Особенно актуальны разработки, направленные на разработку составов из местного минерального сырья, что снижает затраты на транспортировку сырьевых материалов к местам производства и потребления. Владимирская область располагает большими запасами кремнеземсодержащего сырья, которое применяется местными предприятиями по производству стекла и керамики. Отходы этих предприятий могут успешно применяться для получения силикат-глыбы по мокрому способу, который заключается в прямом растворении

кремнеземсодержащих материалов в едких щелочах. Этот способ в последнее время находит широкое применение [3]. Кроме того, ряд предприятий региона занимается производством силикат-глыбы.

Таким образом, производство теплоизоляционных материалов на основе силикат-глыбы является актуальным для рассматриваемого региона. В рамках данной работы проводились исследования влияния температурного режима на физико-механические свойства пеносиликатного материала, полученного на основе натриевой силикат-глыбы и мела, применяемого в качестве газообразователя. Выбор газообразователя объясняется его сравнительно низкой стоимостью и стабильностью состава, а также широким распространением. Цель работы заключалась в получении материала с низкой плотностью и в оценке его физико-механических свойств, получаемых при исследуемых температурных режимах.

Химический состав натриевой силикат-глыбы, которую применяли при проведении эксперимента, соответствует требованиям ГОСТ 50418-92 и представлен следующими оксидами (мас. %): $\text{SiO}_2 = 71,52$; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,98$; $\text{CaO} = 0,36$; $\text{SO}_2 = 0,27$; $\text{Na}_2\text{O} = 25,87$.

Химический состав примененного мела соответствует требованиям ГОСТ 17498-72 для марки ММ2 и представлен следующими оксидами (мас. %): $\text{CaO} = 50,22$; $\text{MgO} = 0,92$; $\text{SiO}_2 = 4,41$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2,84$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} = 0,16$; $\text{CO}_2 = 41,45$.

Перед проведением исследований силикат-глыбу размалывали в шаровой мельнице и для проведения экспериментов отбирали фракцию с размером частиц менее 0,63 мм. Мел и молотую силикат-глыбу предварительно высушивали при температуре 120°C до постоянной массы.

На первом этапе работы определяли температуру перехода силиката натрия в пиропластическое состояние. Эксперимент проводили параллельно на двух пробах исследуемого материала по двум разным методам для определения оптимального режима перехода в пиропластическое состояние. Для этого навески материала в количестве 10 г помещали в керамические тигли, которые нагревали в лабораторной муфельной печи до температуры 600°C в течение 2 ч. Затем пробы визуально и при соприкосновении с металлическим стержнем диаметром 50 мм проверялись на переход в пиропластическое состояние на одной и той же пробе через каждые 25°C. При этом первую пробу выдерживали при контрольных температурах в течение

10 минут, а затем вынимали из печи для проверки, а вторую пробу вынимали сразу по достижении контрольных температур.

При исследовании первой пробы было установлено, что при температуре 600°C порошок силиката натрия спекается, при температурах свыше 650°C он переходит в кристаллическое состояние. После соприкосновения материала с металлическим стержнем не оставалось следов воздействия. Эксперимент был завершен по достижении температуры 850°C без дальнейших изменений в состоянии материала.

При исследовании второй пробы было установлено, что при температуре 600°C, как и в случае с первой пробой, порошок силиката натрия спекается, а при температуре 675°C переходит в кристаллическое состояние. При температурах свыше 800°C материал переходил в пиропластическое состояние, в котором воздействие металлического стержня приводило к появлению отпечатков на поверхности пробы (показано стрелками на рис. 2). По достижении 1025°C материал переходил в аморфное стеклообразное состояние, в котором не оставалось следов от контакта с металлическим стержнем.

На рис. 1 и 2 приведены фотографии результатов изменения состояния материала. Показаны изображения после термообработки, в результате которой происходили визуальные изменения состояния материала.

На основании предварительного эксперимента было установлено, что для перехода силиката натрия в пиропластическое состояние необходим нагрев до 800°C с минимальной выдержкой материала, иначе возможны его преждевременное спекание и кристаллизация.

На втором этапе исследований проводилось изготовление образцов из пеносиликата с добавлением мела. Приготовление смеси силиката и газообразователя проводилось при совместном помоле ингредиентов, взвешенных в нужной пропорции, в шаровой мельнице в течение 20 мин. Затем готовая смесь засыпалась в тонкостенные металлические формы и вручную незначительно уплотнялась до получения ровной поверхности засыпки.

Формы с материалом помещались на две огнеупорные подставки внутри муфельной лабораторной печи для обеспечения конвекции нагретого воздуха и относительно равномерного нагрева со всех сторон и нагревались до температуры вспенивания с последующей выдержкой, а затем охлаждались внутри печи до комнатной температуры после её выключения.

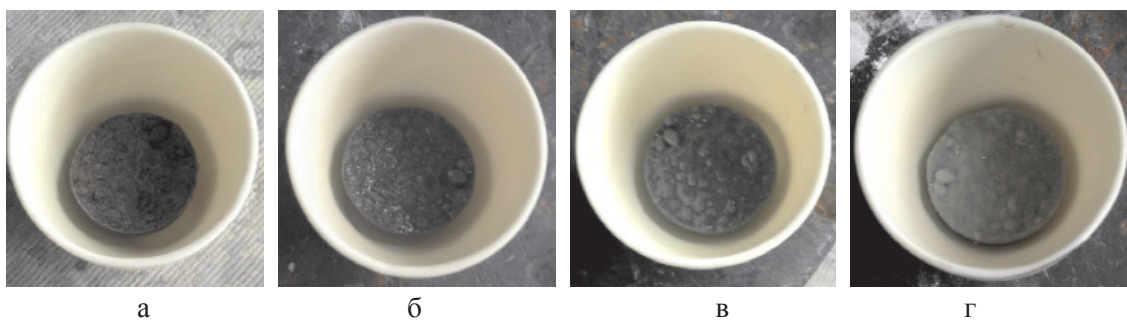


Рис. 1. Изменение состояния силиката натрия при различных температурах с проведением выдержки при каждой температуре:
а – от 600 до 625 °С; б – 650 °С; в – от 675 до 700 °С; г – от 725 до 800 °С

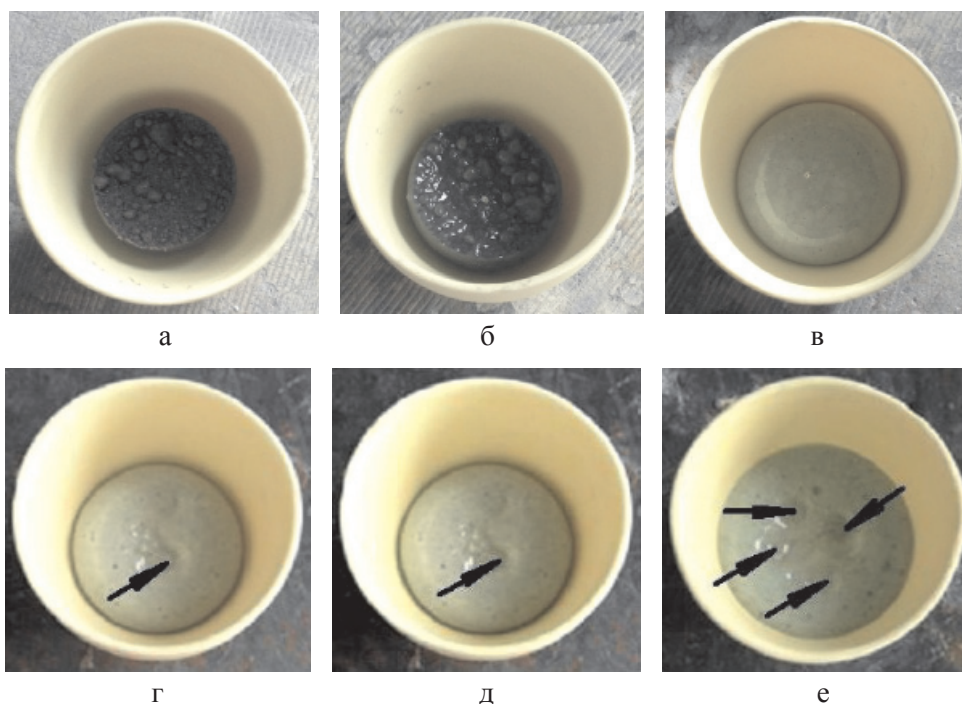


Рис. 2. Изменение состояния силиката натрия при различных температурах без проведения выдержки при каждой температуре:
а – от 600 до 650 °С; б – от 675 до 775 °С; в – от 800 до 875 °С;
г – от 900 до 975 °С; д – 1000 °С; е – 1025 °С

Первоначально мел вводили в количестве 1% от массы силиката и увеличивали содержание газообразователя на 1% в каждом последующем опыте с визуальной оценкой степени вспенивания образца. Вспенивание проводили при температуре 800 °С. Установлено, что при содержании мела менее 3% вспенивание материала было незначительным, а при содержании от 4 до 7 – удовлетворительным и практически не увеличивалось с повышением количества мела, но при этом происходило укрупнение пор с образованием крупных пустот в материале. Поэтому дальнейшие исследо-

вания проводили на образцах, полученных с добавлением 5% мела.

Для оценки влияния температуры на свойства получаемого материала изготавливаемые образцы вспенивали при температурах от 750 до 850 °С через каждые 25 °С.

Экспериментально установлено, что для применяемых форм размером 9,34×4,9×3,5 см возможна засыпка 50 г силиката и 2,5 г газообразователя. При меньших навесках происходило незначительное вспенивание, по-видимому, из-за относительно большой площади поверхности формы и малой толщины слоя засыпки.

Также установлено, что время выдержки не должно превышать 5 мин при времени нагрева равном 40 мин. При большем времени нагрева материал, по-видимому, за счёт пиропластического состояния оседает, а при меньшем времени не достигает максимально возможного объема (следовательно минимальной плотности и максимальной пористости) при вспенивании. При указанном температурном режиме материал при вспенивании заполнял от 80% формы и выше.

После извлечения образцов из формы им придавался вид параллелепипеда при помощи ножовки. Таким образом, было установлено, что материал легко поддается механической обработке для получения образцов требуемой формы и размеров. В результате оценки внешнего вида образцов (рис. 3) было установлено, что пористость материала относительно равномерная.

– для открытой пористости:

$$P_{от} = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{вл}} \cdot 100\%,$$

где $m_{вл}$ – масса насыщенного водой образца, измеренная при определении водопоглощения, г; $m_{сух}$ – масса сухого образца, г;

– для закрытой пористости:

$$P_з = P_{и} - P_{от}, \%$$

Результаты определения свойств образцов в сухом состоянии представлены на рис. 4 и 5.

Зависимость кажущейся плотности от температуры можно объяснить тем, что при температурах вспенивания до 800°C степень вспенивания увеличивается и материал лучше сохраняет полученный при вспенивании объем, а при температурах свыше 800°C деформируемость материала

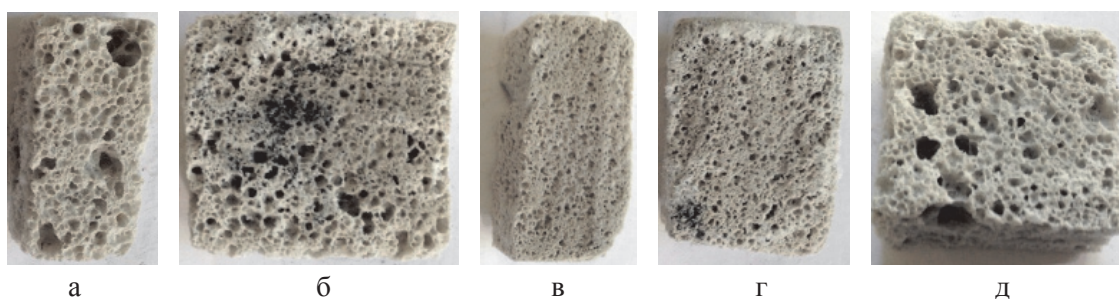


Рис. 3. Внешний вид образцов, полученных при различной температуре вспенивания, °С: а – 750; б – 775; в – 800; г – 825; д – 850

образцы изготавливались и испытывались сериями. Каждая серия состояла из трёх образцов. Оценка физико-механических свойств проводилась по результатам определения кажущейся плотности в сухом состоянии, водопоглощения и пористости, определённых по стандартным методикам.

Водопоглощение (В) образцов определялось по результатам их взвешивания после нахождения в емкости с водой в течение 24 часов. Значения водопоглощения исследуемых образцов приведены на рис. 4. Пористость образцов определялась по следующим формулам:

– для истинной пористости:

$$P_{и} = \left(1 - \frac{\rho_{каж}}{\rho_{ист}} \right) \cdot 100\%,$$

где $\rho_{ист}$ – истинная плотность исследуемого материала, определенная пикнометрическим методом и равная 646,29 кг/м³;

возрастает за счет повышения пластичности, а следовательно, он может меньше увеличиваться в объеме и оседать, что приводит к увеличению плотности. По тем же причинам изменяются водопоглощение и истинная пористость. Высокие значения водопоглощения объясняются большей открытой пористостью образцов. Преобладание открытой пористости над закрытой можно объяснить тем, что поры в рассматриваемых образцах в основном образовывались за счет удаления газообразователя.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлен температурный режим, при котором на основе натриевой силикат-глыбы с добавлением 5% мела может быть получен теплоизоляционный материал с удовлетворительной плотностью, так как у большинства современных теплоизоляционных материалов, применяемых в строительстве, плотность находится

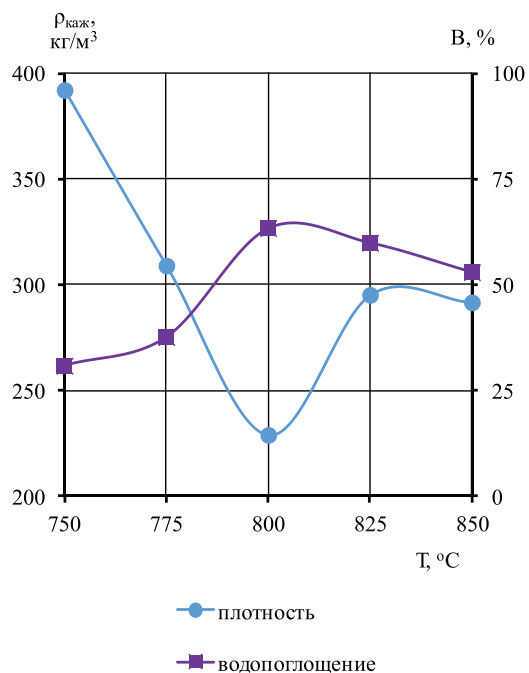


Рис. 4. Плотность и водопоглощение исследуемых образцов

в пределах от 17 до 400 кг/м³ [1, 5]. В данном направлении возможны дальнейшие исследования, направленные на исследование влияния различных добавок с разным соотношением относительно количества силиката натрия, в том числе и за счет вариаций размера пор, что позволит получить пеносиликат с заданным комплексом эксплуатационных свойств.

Список литературы

1. Зарубина Л.П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии. – СПб.: БХВ-Петербург. Серия: Строительство и архитектура, 2013. – 416 с.
2. Кудрякова А.В. Оценка влияния состава шихты на прочностные характеристики керамического кирпича / А.В. Кудрякова, Я.И. Чернышкіна, Е.С. Пикалов, Е.С. Ильина // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 1. – С. 26–30.
3. Обзор рынка силикат-глибы и жидкого стекла в СНГ. – 3-е изд., перераб. и доп. Демонстрационная версия. – М.: ИнфоМайн, 2010. – 17 с.
4. Производство теплоизоляционных пеносиликатных материалов / В.Ф. Павлов, А.М. Погодаев, А.В. Прошкин, В.Ф. Шабанов. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 1999. – 70 с.
5. Соколова С.Д. Теплоизоляция. Материалы, конструкции, технологии / С.Д. Соколова, Л.В. Ставрицкая, Б.М. Шойхет, под ред. С.М. Кочергина. – М.: НТС «Стройинформ», 2008. – 444 с.
6. Чухланов В.Ю. Исследование диэлектрических свойств синтактических пен на основе кремнийорганиче-

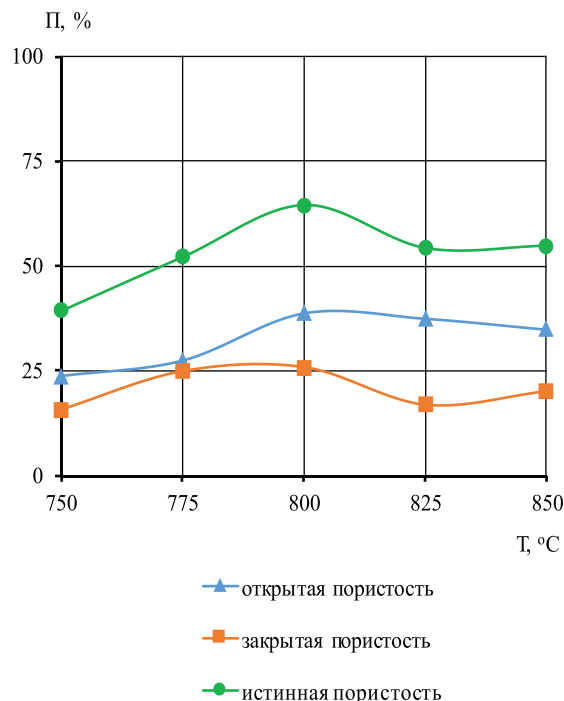


Рис. 5. Пористость исследуемых образцов

ского связующего / В.Ю. Чухланов, О.Г. Селиванов // Пластические массы. – 2015. – № 1–2. – С. 45–46.

7. Чухланов В.Ю. Теплофизические свойства синтактичных пенопластов на основе полидиметилсилоксанового связующего / В.Ю. Чухланов, О.Г. Селиванов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8–1. – С. 26–29.

References

1. Zarubina L.P. *Teploizolyatsiya zdaniy i sooruzheniy. Materialy i tekhnologii* [Thermal insulation of buildings and structures. Materials and technologies]. Saint Petersburg, BKHV-Petersburg. Series: Construction and architecture, 2013. 416 p.
2. Kudryakova A.V., Chernyashkina Ya.I., Pikalov E.S., Ilina E.S. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Success of modern natural science*, 2016, no. 1, pp. 26–30.
3. *Obzor rynka silikat-glyby i zhidkogo steklav SNG* [The review of the market of solid sodium silicate and liquid glass in the CIS]. 3rd ed., revised and enlarged edition. M.: Infomine, 2010. 17 p.
4. Pavlov V.F., Pogodaev A.M., Proshkin A.V., Shabanov V.F. *Proizvodstvo teploizolyatsionnykh penosilikatnykh materialov* [Foamed silicate production of thermal insulation materials] – Novosibirsk: Pub. SB RAS, 1999. 70 p.
5. Sokolova S.D., Stavitskaya L.V., Shoykhet B.M. *Teploizolyatsiya. Materialy, konstruksii, tekhnologii* [Thermal insulation. Materials, design, technology], ed. Kochergin S.M. M.: NTS Stroyinform, 2008. 444 p.
6. Chukhlanov V.Yu., Selivanov O.G., *Plasticheskie massy* – Plastic mass, 2015, no. 1–2, pp. 45–46.
7. Chukhlanov V.Yu., Selivanov O.G., *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy* – International journal of applied and fundamental research, 2014, no. 8–1, pp. 26–29.