

DOI 10.53980/24131997_2022_1_57

Н.П. Лукутцова, д-р техн. наук, проф., e-mail: natluk58@mail.ru

А.А. Пыкин, канд. техн. наук, доц., e-mail: alexem87@yandex.ru

С.Н. Головин, аспирант, e-mail: s.n.golovin@mail.ru

Е.С. Шохов, студент, e-mail: evgeniyshokhov@icloud.com

Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск

УДК 691.335

ВЛИЯНИЕ ВИДА ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ГИПСОВОГО КАМНЯ

Исследованы микроструктура и свойства гипсового камня (ГК) с использованием синтетического (СПО) и протеинового (ППО) пенообразователей. Установлено, что микроструктура ГК с СПО представлена крупнодисперсными кристаллами двуводрата сульфата кальция пластинчато-игольчатой морфологии с объемом мезопор диаметром 3–33 нм до $43 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ и макропор диаметром 60–130 нм до $30 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$. Микроструктура ГК с ППО отличается содержанием мелкодисперсных, плотноупакованных кристаллов $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ призматического габитуса с объемом мезопор до $57 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ и макропор до $19 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$. Определено, что синтетический пенообразователь позволяет снизить среднюю плотность гипсового камня до $430 \text{ кг}/\text{м}^3$, а теплопроводность – до $0,14 \text{ Вт}/(\text{м} \times ^\circ\text{C})$. Протеиновый пенообразователь приводит к уплотнению и упрочнению ГК.

Ключевые слова: гипсовый камень, синтетический пенообразователь, протеиновый пенообразователь, кратность пены, физико-механические свойства, микроструктура.

N.P. Lukutsova, Dr. Sc. Engineering, Prof.

A.A. Pykin, Cand. Sc. Engineering, Assoc. Prof.

S.N. Golovin, Post graduate student

E.S. Shokhov, student

INFLUENCE OF THE TYPE OF FOAM AGENT ON MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF GYPSUM STONE

The article investigates the microstructure and properties of gypsum stone (GS) when used with synthetic (SFA) and protein (PFA) foaming agents. The authors found out that the microstructure of GS with SFA is represented by coarse particle crystals of calcium sulfate dihydrate of plate-acicular morphology with a volume of mesopores with a diameter of 3–33 nm up to $43 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$ and macropores with a diameter of 60–130 nm up to $30 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$. The microstructure of GS with PFA differs in the content of finely dispersed, close-packed $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ crystals of a prismatic habit with a mesopore volume of up to $57 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$ and macropores of up to $19 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{g}$. It was established that synthetic foaming agent enables to reduce average density of gypsum stone to $430 \text{ kg}/\text{m}^3$, and the thermal conductivity to $0,14 \text{ W}/(\text{m} \times ^\circ\text{C})$. Protein foaming agent results in compaction and hardening of the GS.

Key words: gypsum stone, synthetic foaming agent, protein foaming agent, foam expansion rate, physical and mechanical properties, microstructure.

Введение

Современные тенденции развития строительного материаловедения связаны с необходимостью разработки новых энергосберегающих материалов и изделий поризованной структуры, в том числе на основе гипсовых вяжущих и композиций на их основе [1–6], обладающих высокой прочностью, пониженными значениями средней плотности и теплопроводности [7].

К наиболее распространенным способам создания поризованных структур, предлагаемых в настоящее время, относятся технологии с применением газообразующих добавок [8].

Однако специфические свойства гипсовых вяжущих, в частности быстрое схватывание и твердение, затрудняют совместные процессы газовыделения и структурообразования.

В связи с этим актуальным и перспективным научно-техническим направлением является изыскание эффективных способов получения поризованных гипсовых материалов и изделий с использованием пенообразователей нового поколения [9].

Цель данной работы заключается в исследовании влияния вида пенообразователя на микроструктуру и физико-механические свойства (прочность на сжатие, среднюю плотность, коэффициент теплопроводности) гипсового камня (ГК), полученного способом сухой минерализации пен низкой кратности высокопрочным сепарированным гипсом.

Материалы и методы

В качестве сырьевых компонентов для получения ГК применялись:

- высокопрочный сепарированный гипс марки Г-16 А III, водопотребностью 37-40 % (ЗАО «Самарский гипсовый комбинат»);
- синтетический пенообразователь (СПО) «Пеностром» (Россия);
- протеиновый пенообразователь (ППО) «Foam X» (Италия).

Микроструктура ГК исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа MIRA 3 LMU (Tescan, Чехия), а также анализатора распределения пор по размерам QuadraSorb SI (Quantachrome Instruments, США) методом BJH (Barrett-Joyner-Halenda).

Прочность на сжатие ГК определялась на половинках образцов размерами 16×4×4 см через 2 ч твердения, изготовленных из смесей гипса с пенами низкой кратности (от 4 до 6) и без пен (с водой).

Приготовление смесей осуществлялось с помощью лабораторного смесителя миксерного типа в два этапа:

- получение пены из водного раствора пенообразователя с объемной концентрацией 0,6–0,65 % в течение 90 с;
- сухая минерализация пены (равномерное опудривание пузырьков) при постоянном перемешивании с гипсовым вяжущим в течение 60 с.

Средняя плотность и коэффициент теплопроводности ГК определялись на образцах размерами 10×10×10 см, высушенных при температуре 45–55 °С до постоянной массы. Коэффициент теплопроводности измерялся прибором ИТП-МГ4 с цилиндрическим зондом диаметром 5 мм.

Результаты и обсуждение

Методом сканирующей электронной микроскопии установлено, что микроструктура гипсового камня (СПО «Пеностром») представлена крупнодисперсными кристаллами двуводрата сульфата кальция пластинчато-игольчатой морфологии (рис. 1 а, б) с объемом мезопор диаметром 3–33 нм до $43 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ и макропор диаметром 60–130 нм до $30 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ (рис. 2 а).

Микроструктура ГК с ППО «Foam X» отличается содержанием мелкодисперсных, плотноупакованных кристаллов $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ призматического габитуса (рис. 1 в, г) с объемом мезопор до $57 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ и макропор до $19 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ (рис. 2 б).

Анализ физико-механических свойств ГК (табл.) показал, что при использовании СПО «Пеностром» средняя плотность гипсового камня снижается с 1320 до 430 кг/м³, коэффициент теплопроводности – с 0,57 до 0,14 Вт/(м×°С) (в 4 раза), прочность на сжатие – с 14,6 до 2,4 МПа (в 6 раз).

При этом ППО «Foam X» приводит к повышению прочности на сжатие гипсового камня с 14,6 до 17,5 МПа (в 1,2 раза) при увеличении средней плотности до 1360 кг/м³, а коэффициента теплопроводности – до 0,6 Вт/(м×°С).

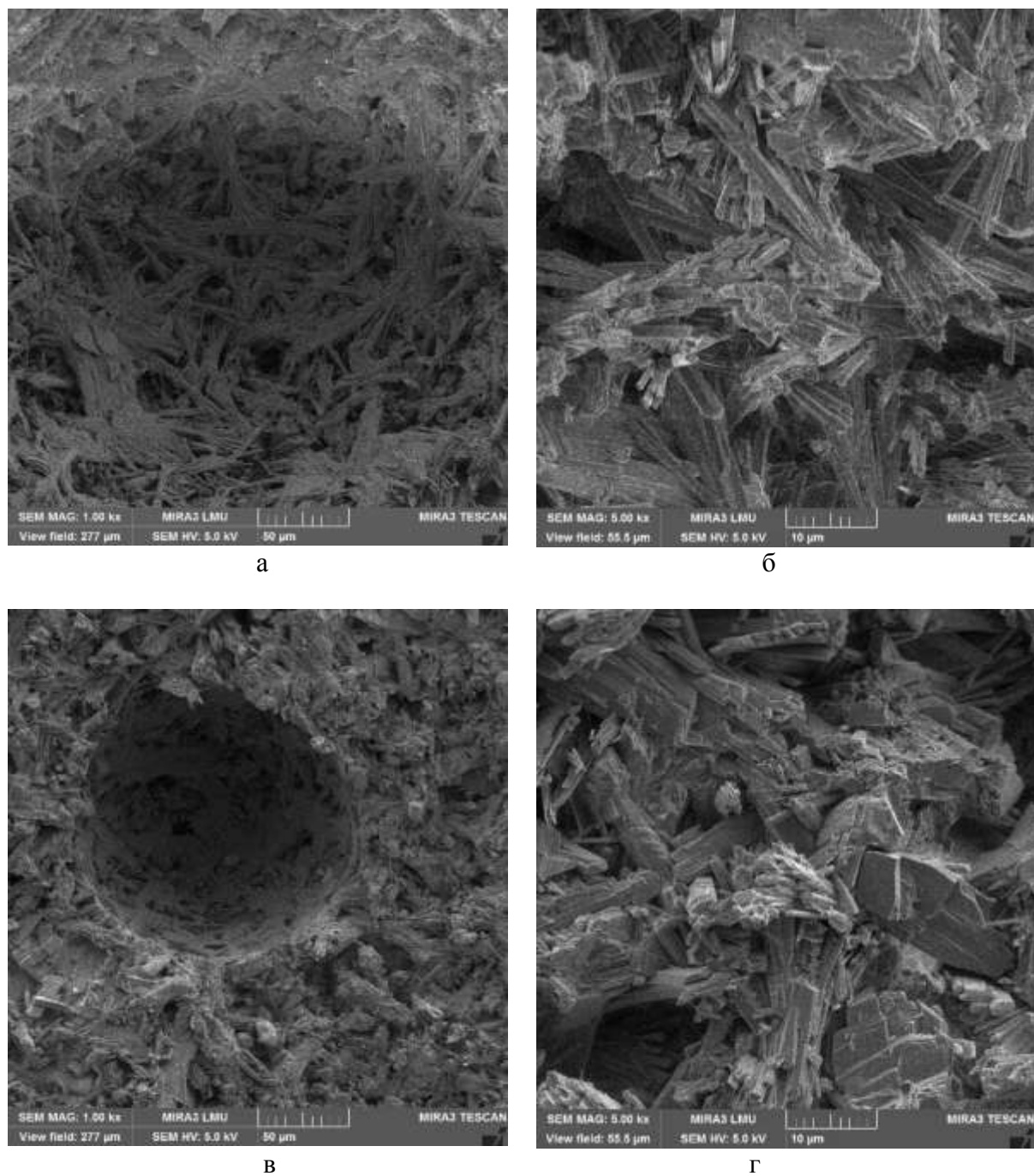
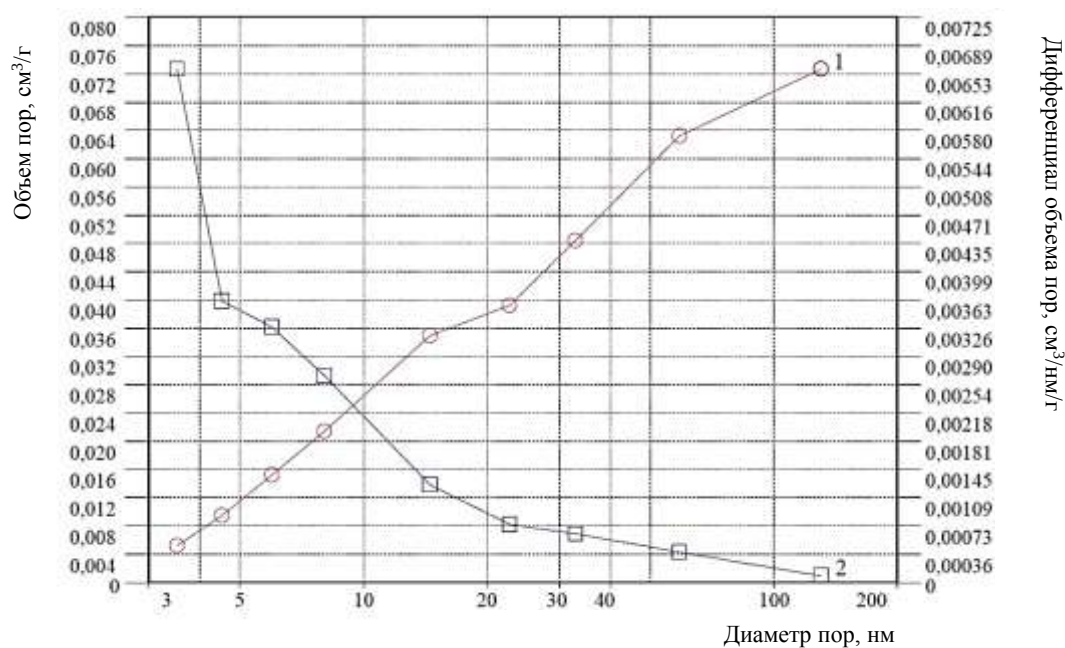


Рисунок 1 – Микроструктура гипсового камня с СПО «Пеностром» (а, б) и с ППО «Foam X» (в, г): а, в – (x1000); б, г – (x5000)

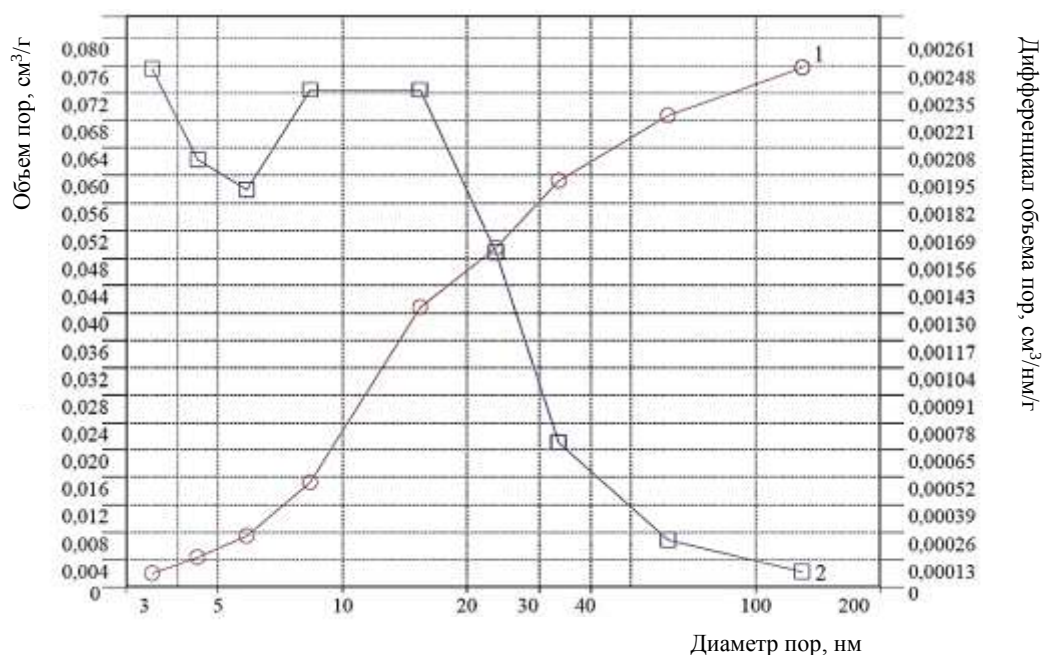
Таблица

Физико-механические свойства гипсового камня

Состав гипсового камня	Средние значения показателей свойств		
	средняя плотность, кг/м ³	коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	прочность на сжатие, МПа
Без пенообразователя	1320	0,57	14,6
С СПО «Пеностром»	430	0,14	2,4
С ППО «Foam X»	1360	0,6	17,5



а



б

Рисунок 2 – Интегральная (1) и дифференциальная (2) кривые распределения пор по размерам в гипсовом камне: а – с СПО «Пеностром»; б – с ППО «Foam X»

Выводы

Установлен характер влияния синтетического «Пенострома» и протеинового «Foam X» пенообразователей на микроструктуру и физико-механические свойства гипсового камня, полученного способом сухой минерализации пен низкой кратности (4–6) высокопрочным гипсом. Синтетический пенообразователь «Пеностром» позволяет снизить среднюю плотность до 430 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности – до $0,14 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ гипсового камня с гарантированной прочностью на сжатие не менее 2 МПа, что эффективно при производстве теплоизоляционных гипсовых материалов и изделий. Протеиновый пенообразователь «Foam X» способствует повышению прочности на сжатие гипсового камня в 1,2 раза при увеличении средней

плотности на 3 %, а коэффициента теплопроводности на 5 %, что целесообразно при изготовлении конструкционных материалов и изделий на основе гипса.

Библиография

1. *Ilina L.V., Zavadskaya L.V., Ilina A.I.* Investigation of Composition and Technological Parameters of Highly Porous Gypsum Products Obtaining // *Solid State Phenomena*. – 2020. – Vol. 299. – P. 130–136.
2. *Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Кузнецов Д.В. и др.* Использование конструкционно-теплоизоляционного пеногипса при строительстве и реконструкции зданий. Проблемы и перспективы // *Строительные материалы*. – 2020. – № 7. – С. 28–33.
3. *Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С. и др.* Эффективный ячеистый бетон на композиционном гипсовом вяжущем // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2019. – № 10. – С. 11–18.
4. *Chernysheva N.V., Shatalova S.V., Drebezgova M.Yu. et al.* Thermal Insulating and Constructive Foamed Concrete on a Composite Gypsum Binder // *Materials Science Forum*. – 2019. – Vol. 974. – P. 125–130.
5. *Булатов Б.Г., Шигапов Р.И., Ивлев М.А. и др.* Каркасно-монолитная технология строительства малоэтажных зданий из пеногипса и стальных тонкостенных конструкций // *Строительные материалы*. – 2018. – № 8. – С. 36–39.
6. *Бессонов И.В., Шигапов Р.И., Бабков В.В.* Теплоизоляционный пеногипс в малоэтажном строительстве // *Строительные материалы*. – 2014. – № 7. – С. 9–13.
7. *Коровяков В.Ф., Бурьянов А.Ф.* Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве // *Жилищное строительство*. – 2015. – № 12. – С. 38–40.
8. *Suleymanova L.A., Kara K.A., Suleymanov K.A. et al.* The topology of the dispersed phase in gas concrete // *Middle East Journal of Scientific Research*. – 2013. – Vol. 18 (10). – P. 1492–1498.
9. *Isern E.R., Messing G.L.* Direct foaming and seeding of highly porous, lightweight gypsum // *Journal of Materials Research*. – 2016. – Vol. 31 (15). – P. 2244–2251.

Bibliography

1. *Ilina L.V., Zavadskaya L.V., Ilina A.I.* Investigation of Composition and Technological Parameters of Highly Porous Gypsum Products Obtaining // *Solid State Phenomena*. – 2020. – Vol. 299. – P. 130–136.
2. *Shigapov R.I., Sinitsin D.A., Kuznetsov D.V. et al.* The use of structural and thermal insulation foam gypsum in the construction and reconstruction of buildings. Problems and prospects // *Construction Materials*. – 2020. – N 7. – P. 28–33.
3. *Shatalova S.V., Chernysheva N.V., Glagolev E.S. et al.* Effective cellular concrete on the composite gypsum binder // *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. – 2020. – N 10. – P. 11–18.
4. *Chernysheva N.V., Shatalova S.V., Drebezgova M.Yu. et al.* Thermal insulating and constructive foamed concrete on a composite gypsum binder // *Materials Science Forum*. – 2019. – Vol. 974. – P. 125–130.
5. *Bulatov B.G., Shigapov R.I., Ivlev M.A. et al.* Frame-monolithic technology of construction of low-rise buildings made of foam gypsum and steel thin-walled structures // *Stroitel'nye Materialy (Construction Materials)*. – 2018. – N 8. – P. 36–39.
6. *Bessonov I.V., Shigapov R.I., Babkov V.V.* Heat-insulating foamed gypsum in low-rise construction // *Construction Materials*. – 2014. – N 7. – P. 9–13.
7. *Korovyakov V.F., Buryanov A.F.* Scientific and technical backgrounds of efficient application of gypsum materials in construction // *Housing Construction*. – 2015. – N 12. – P. 38–40.
8. *Suleymanova L.A., Kara K.A., Suleymanov K.A. et al.* The topology of the dispersed phase in gas concrete // *Middle East Journal of Scientific Research*. – 2013. – Vol. 18 (10). – P. 1492–1498.
9. *Isern E.R., Messing G.L.* Direct foaming and seeding of highly porous, lightweight gypsum // *Journal of Materials Research*. – 2016. – Vol. 31 (15). – P. 2244–2251.