

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ №12



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

ДЕКАБРЬ 2017 г.

(755)

VIATOR®

Das Pellet.

Российским дорогам – немецкое качество!

Гранулы VIATOR® для щебеночно-мастичного асфальтобетона производятся на немецком оборудовании и по немецким стандартам на территории Российской Федерации.

- Находящийся в грануле битум обеспечивает быстрое и равномерное распределение волокон в смесителе
- Отличная эффективность и стабилизирующий эффект благодаря плотной трехмерной структуре из волокон
- Экономичное производство асфальтобетона – нет снижения производительности АБЗ благодаря отсутствию дополнительного сухого смешивания
- Высочайшие стандарты качества VIATOR® обеспечивают качество асфальтобетона



ООО РЕТТЕНМАЙЕР РУС



Природные
волокна

Член концерна JRS

ООО Реттенмайер Рус
Российская Федерация
115280, Москва,
ул. Ленинская Слобода д. 19 стр. 1
Тел. (495) 276 0640
info@rettenmaier.ru

www.retttenmaier.ru

Учредитель журнала:
 ООО Рекламно-издательская
 фирма «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
 Журнал зарегистрирован
 Министерством РФ по делам
 печати, телерадиовещания
 и средств массовой информации
 ПИ №77–1989
Входит в Перечень ВАК
 и государственный
 проект РИНЦ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 12

Основан в 1955 г.

(755) декабрь 2017 г.

Главный редактор:

ЮМАШЕВА Е. И.,
 инженер-химик-технолог,
 почетный строитель России

Редакционный совет:

РЕСИН В. И.,
 председатель, д-р экон. наук,
 профессор, академик РААСН (Москва)

АСКАДСКИЙ А. А.,
 д-р хим. наук, профессор (Москва)

БУРЬЯНОВ А. Ф.,
 д-р техн. наук, директор Российской
 гипсовой ассоциации (Москва)

БУТКЕВИЧ Г. Р.,
 канд. техн. наук, член правления
 Ассоциации «Недра» (Москва)

ВАЙСБЕРГ Л. А.,
 д-р техн. наук, профессор,
 академик РАН
 (Санкт-Петербург)

ВЕРЕЩАГИН В. И.,
 д-р техн. наук, профессор (Томск)

ГОРИН В. М.,
 канд. техн. наук, президент Союза
 производителей керамзита и
 керамзитобетона (Самара)

ЖУРАВЛЕВ А. А.,
 Президент Ассоциации «Недра» (Москва)

КОРОЛЕВ Е. В.,
 д-р техн. наук, профессор (Москва)

КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.,
 д-р техн. наук, профессор (Воронеж)

КРИВЕНКО П. В.,
 д-р техн. наук, профессор (Украина)

ЛЕОНИЧ С. Н.,
 д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

ЛЕСОВИК В. С.,
 д-р техн. наук, профессор,
 член-корреспондент РААСН (Белгород)

ОРЕШКИН Д. В.,
 д-р техн. наук, профессор (Москва)

ПИЧУГИН А. П.,
 д-р техн. наук, профессор
 (Новосибирск)

ПУХАРЕНКО Ю. В.,
 д-р техн. наук, профессор,
 член-корреспондент РААСН
 (Санкт-Петербург)

ФЕДОСОВ С. В.,
 д-р техн. наук, профессор,
 академик РААСН (Иваново)

ФИШЕР Х.-Б.,
 доктор-инженер (Германия)

ХОЗИН В. Г.,
 д-р техн. наук, профессор (Казань)

ЧЕРНЫШОВ Е. М.,
 д-р техн. наук, профессор,
 академик РААСН (Воронеж)

ШЛЕГЕЛЬ И. Ф.,
 канд. техн. наук (Омск)

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д. И.,
 д-р техн. наук, профессор (Израиль)

ЯКОВЛЕВ Г. И.,
 д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
 журнал «Строительные материалы»®, 2017

Керамические строительные материалы

Деловой тур группы КЕРАМТЭКС на предприятия компаний VERDES, FORGESTAL, BERALMAR (Испания) и METALCERTIMA (Португалия) (Информация)..... 4

Холдингу НК-ТЕПЛОХИММОНТАЖ 25 лет! (Информация) 6

А.Ю. СТОЛБОВУШКИН, А.И. ИВАНОВ, В.В. ШЕВЧЕНКО, О.А. ФОМИНА, М.С. ДРУЖИНИН
Исследования структуры и свойств ячеистых керамических материалов
с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород 7

Х.С. ЯВРУЯН, Е.С. ГАЙШУН, А.В. КОТЛЯР
Особенности компрессионного формования тонкодисперсных продуктов
углеобогащения при производстве керамического кирпича 14

К.А. АРИСКИНА, Б.А. СЕРГЕЕВ, Э.Т. МУХАМЕТОВА, Р.Р. МУХАМЕТЗЯНОВ,
А.М. САЛАХОВ, А.И. ГУМАРОВ, А.Г. НИКОЛАЕВ
Исследование структуры и цветовых характеристик глазурных покрытий 18

Заводы с линией ручной формовки Easytuid: сделано в Италии (Информация).... 24

Силикатные строительные материалы

СИЛИКАТэкс 2017 (Информация)..... 30

Г.В. КУЗНЕЦОВА, Г.Х. ГАЙНУТДИНОВА
Влияние крупности песка на выбор вида известкового вяжущего 33

М.В. КОРНЕВ, А.В. МАКАРОВ, И.Н. ТИХОМИРОВА, М.А. КАРПЕНКО
Коррозия силикатных материалов 38

А.В. НЕСТЕРОВ
Автоматизация шахтных печей для производства извести 41

С.В. ДУГУЕВ, В.Б. ИВАНОВА, К.Ж. САТВАЛДИНОВ
Номенклатура и динамика продаж пигментов БЭС
на рынке строительных материалов (Информация) 48

Результаты научных исследований

С.В. ФЕДОСОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА, И.В. КРАСИЛЬНИКОВ, С.А. ЛОГИНОВА
Исследование влияния процессов массопереноса
на надежность и долговечность железобетонных конструкций,
эксплуатируемых в жидких агрессивных средах 52

С.С. КАПРИЕЛОВ, А.В. ШЕЙНФЕЛЬД, Г.С. КАРДУМЯН, И.А. ЧИЛИН
О подборе составов высококачественных бетонов
с органоминеральными модификаторами 58

А.М. СУЛЕЙМАНОВ, Е.С. ЗЫКОВА, И.А. СТАРОВОЙТОВА, А.Н. СЕМЕНОВ
Модифицированные клеевые связующие
для систем внешнего армирования строительных конструкций
Часть 2. Физико-механические характеристики клеев..... 64

М.Ю. ДРЕБЕЗГОВА
Реологические свойства системы «композиционное гипсовое вяжущее –
суперпластификатор – вода»..... 68

К.М. ВОРОНИН, Д.Д. ХАМИДУЛИНА, С.А. НЕКРАСОВА, И.С. ТРУБКИН
Вибропрессованные элементы мощения с использованием
сталеплавыльных шлаков 71

Указатель статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы»®
в 2017 году 74

Адрес редакции: Россия, 127434, Москва,
 Дмитровское ш., д. 9, стр. 3
Тел./факс: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36
E-mail: mail@rifsm.ru **http://www.rifsm.ru**

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

Founder of the journal:
«STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO

The journal is registered
by the RF Ministry of Press,
Broadcasting and Mass
Communications,
PI № 77-1989

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROYTEL'NYE MATERIALY®

№ 12

Founded in 1955 (755) December 2017

Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,
engineer-chemist-technologist,
Honorary Builder of Russia

Editorial Board

RESIN V.,
Chairman, Doctor of Sciences (Economy),
Professor (Moscow)

ASKADSKIY A.,
Doctor of Sciences (Chemistry),
Professor (Moscow)

BUR'YANOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering), Director
of the Russian Association of gypsum
(Moscow)

BUTKEVICH G.,
Candidate of Sciences (Engineering),
member of the Board of Association
«Nedra» (Moscow)

VAYSBERG L.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAS
(St. Petersburg)

VERESHCHAGIN V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Tomsk)

GORIN V.,
Candidate of Sciences (Engineering),
President of the Union of Haydite and
Haydite Concrete Producers (Samara)

ZHURAVLEV A.,
President of the Association «Nedra»
(Moscow);

KOROLEV E.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Moscow)

KRASOVITSKY Yu.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Voronezh)

KRIVENKO P.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Ukraine)

LEONOVICH S.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Belarus, Minsk)

LESOVIK V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding Member of RAACS
(Belgorod)

ORESHKIN D.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Moscow)

PICHUGIN A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor, Member of the Russian Academy
of Natural Sciences (Novosibirsk),

PUKHARENKO Yu.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (St. Petersburg)

FEDOSOV S.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor, Academician of RAACS
(Ivanovo)

FISHER H.-B.,
Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

KHOZIN V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Kazan)

CHERNYSHOV E.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor, Academician of RAACS
(Voronezh)

SHLEGEL I.,
Candidate of Sciences (Engineering),
OOO «INTA-Stroy» (Omsk)

SHTACKELBERG D.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Israel)

YAKOVLEV G.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Izhevsk)

Ceramic building materials

Business Tour of KERAMTEX Group to Enterprises of VERDES, FORGESTAL, BERALMAR (Spain), and METALCERTIMA (Portugal) Companies (Information) 4

NK-Teplokhimmontazh Holding: 25 Years! (Information) 6

A.Yu. STOLBOUSHKIN, A.I. IVANOV, V.V. SHEVCHENKO, O.A. FOMINA, M.S. DRUZHININ

Study on Structure and Properties of Cellular Ceramic Materials with a Framework from Dispersed Silica-Containing Rocks 7

H.S. YAVRUYAN, E.S. GAYSHUN, A.V. KOTLYAR

Features of Compression Molding of Fine-Disperse Products of Coal Washing When Producing Ceramic Brick 14

K.A. ARISKINA, B.A. SERGEEV, E.T. MUKHAMETOVA, R.R. MUHAMETZ'YANOV,
A.M. SALAHOV, A.I. GUMAROV, A.G. NIKOLAEV

Investigation of the Structure and Color Characteristics of Glaze Coatings 18

Factories with a line of hand molding Easymud: Made in Italy (Information) 24

Silicate building materials

SILIKATex 2017 (Information) 30

G.V. KUZNETSOVA, G.Kh. GAYNUTDINOVA

Effect of Sand Fineness on Selection of a Lime Binder Type 33

M.V. KORNEV, A.V. MAKAROV, I.N. TIKHOMIROVA, M.A. KARPENKO

Corrosion of Silicate Materials 38

A.V. NESTEROV

Automation of Shaft Kilns for Producing Lime 41

S.V. DUGUEV, V.B. IVANOVA, K.Zh. SATVALDINOV

Nomenclature and Dynamics of Sales of BES Pigments at Building Materials Market (Information) 48

Results of scientific research

S.V. FEDOSOV, V.E. RUMYANTSEVA, I.V. KRASILNIKOV, S.A. LOGINOVA

Study of Effect of Mass Transfer Processes on Reliability and Durability of Reinforced Concrete Structures Operating in Liquid Aggressive Media 52

S.S. KAPRIELOV, A.V. SHEINFELD, G.S. KARDUMYAN, I.A. CHILIN

About Selection of Compositions of High-Quality Concretes with Organic-Mineral Modifiers 58

A.M. SULEJMANOV, E.S. ZYKOVA, I.A. STAROVOJTOVA, A.N. SEMJONOV

Modified Glue Binders for Systems of External Reinforcement of Building Structures Part 2. Physical and Mechanical Characteristics of Glue 64

M.Yu. DREBEZGOVA

Rheological Properties of the System «Composite Gypsum Binder – Superplasticizer – Water» 68

K.M. VORONIN, D.D. KHAMIDULINA, S.A. NEKRASOVA, I.S. TRUBKIN

Vibro-Pressed Elements of Paving with the Use of Steelmaking Slags 71

Index of Articles Published in the Journal «Construction Materials»® in 2017 74

Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation
Tel./fax: (499) 976-22-08, 976-20-36
Email: mail@rifsm.ru http://www.rifsm.ru

The authors of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public. The Editorial Staff can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author. Reprinting and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief. The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.

УДК 666.7-4:552.581

А.Ю. СТОЛБОУШКИН¹, д-р техн. наук (stanyr@list.ru), А.И. ИВАНОВ¹, инженер, В.В. ШЕВЧЕНКО¹, инженер; О.А. ФОМИНА¹, канд. техн. наук; М.С. ДРУЖИНИН², студент (dms95@mail.ru)

¹ Сибирский государственный индустриальный университет (654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)

Исследования структуры и свойств ячеистых керамических материалов с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород*

Приведены исследования структуры и физико-механических свойств керамических стеновых материалов с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород. Даны результаты исследования химического, минералогического и фракционного составов трепела и гранулированного пеностеклокристаллического материала (ГПСКМ). Установлена зависимость физико-механических свойств керамических материалов от содержания ГПСКМ в составе шихты в количестве от 5 до 75%. В заводских условиях из гранулированных шихт изготовлены опытные образцы керамического кирпича размером 65×120×250 мм с шестью полузамкнутыми пустотами, имеющие предел прочности при сжатии 12–17 МПа и среднюю плотность 980–1250 кг/м³ без учета объема пустот. Установлена ячеистая структура керамического материала, состоящего из стеклокристаллического каркаса, стенки которого представлены кварцем, полевым шпатом и гематитом, и замкнутых пор округлой формы с остеклованной внутренней поверхностью.

Ключевые слова: дисперсные кремнеземсодержащие породы, трепел, пеностеклокристаллические гранулы, ячеистые керамические материалы, поровая текстура керамики.

Для цитирования: Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Шевченко В.В., Фомина О.А., Дружинин М.С. Исследования структуры и свойств ячеистых керамических материалов с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород // *Строительные материалы*. 2017. № 12. С. 7–13.

A.Yu. STOLBOUSHKIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (stanyr@list.ru), A.I. IVANOV¹, Engineer, V.V. SHEVCHENKO¹, Engineer, O.A. FOMINA¹, Candidate of Sciences (Engineering); M.S. DRUZHININ², Student (dms95@mail.ru)

¹ Siberian State Industrial University (42, Kirov Street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation)

² Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2-nd Krasnoarmeyskaya Street, Saint Petersburg 190005, Russian Federation)

Study on Structure and Properties of Cellular Ceramic Materials with a Framework from Dispersed Silica-Containing Rocks*

The studies on structure and physical and mechanical properties of ceramic wall materials with a glass-crystalline framework from dispersed silica-containing rocks are provided. The examination results of chemical, mineralogical and granulometric compositions of tripolite and granulated foam-glass crystalline material (GFGCM) are presented. The dependence of physical and mechanical properties of ceramic materials on GFGCM content in the composition of the batch in the amount from 5 to 75% is determined. In the conditions of a brick factory test samples of ceramic bricks, having a compressive strength 12–17 MPa and an average density 980–1250 kg/m³ with dimensions 65×120×250 mm and 6 semi-closed caves, were produced from granulated batch. At the macroscale level the cellular structure of the ceramic material consists of a glass crystalline framework and closed pores of round shape with a vitrified inner surface. It was established that after firing the walls of the framework are represented by quartz, feldspar and hematite.

Keywords: dispersed silica-containing rocks, tripolite, granulated foam-glass crystalline material, cellular ceramic materials, glass crystalline framework, closed pores.

For citation: Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Shevchenko V.V., Fomina O.A., Druzhinin M.S. Study on structure and properties of cellular ceramic materials with a framework from dispersed silica-containing rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 12, pp. 7–13. (In Russian).

Состав и структура строительного материала практически определяют все его важнейшие свойства и фактически устанавливают продолжительность жизненного цикла строительных изделий и конструкций [1]. От внутреннего строения стенового материала как пористо-капиллярной системы во многом зависят его прочностные и теплофизические характеристики. С 2000 г. в России значительно возросли нормативы требуемого термического сопротивления ограждающих конструкций (более чем в два раза) [2]. В результате для большинства климатических районов РФ необходимая расчетная толщина наружных стен из легкобетонных блоков и кирпича превысила 1–1,5 м, что привело к массовому использованию многослойных ограждающих конструкций при возведении зданий в новом столетии [3].

Следует отметить, что производство одновременно легких и прочных однослойных изделий для возведения стен всегда было актуальной проблемой строительного материаловедения. В полной мере этому условию отвечают стеновые материалы с ячеистой структурой. С учетом современных нормативных требований по теплозащите зданий в последнее время проводятся активные поиски получения новых видов эффективных стеновых материалов из природного и техногенного сырья [4–7].

Исходя из вышеизложенного разработка новых разновидностей ячеистых керамических материалов является одним из актуальных направлений развития технологий строительной керамики [8–11].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании структуры, фазового состава и свойств ячеистых кера-

* Результаты исследования получены в рамках выполнения госзадания Минобрнауки РФ, шифр проекта № 7.7285.2017/8.9 «Фундаментальные исследования в области строительных керамических композиционных материалов с матричной структурой на основе техногенного и природного сырья».

* The results of the research were obtained within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, the code of the project No. 7.7285.2017/8.9 «Fundamental research in the field of building ceramic composite materials with a matrix structure based on man-made and natural raw materials».

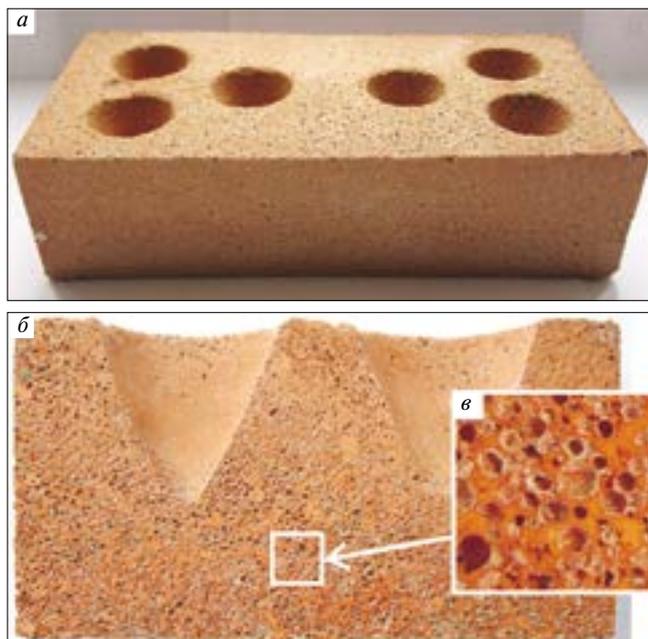


Рис. 1. Керамический кирпич из ГПСМК и потанинского трепела: а – внешний вид; б – поперечное сечение; в – ячеистая структура

мических материалов с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород.

По результатам ранее проведенных исследований авторами разработан способ изготовления эффективных стеновых керамических изделий (средняя плотность без пустот составляет 600–950 кг/м³) на основе глинистого или кремнистого сырья и гранулированного пеностеклокристаллического материала [12]. Пеностеклогранулы увлажняются и активно перемешиваются с сухим тонкодисперсным глинистым или кремнистым сырьем в турболопастном смесителе-грануляторе.

После прессования, сушки и обжига формируется прочная ячеистая структура керамического материала [13].

В настоящей работе в качестве кремнистого сырья, выполняющего роль каркасообразующего компонента, использовался трепел Потанинского месторождения (Челябинская обл.), представляющий собой тонкопористую умеренно пластичную опаловую осадочную породу, состоящую из мелких сферических опаловых глобул размером 0,01–0,001 мм.

В качестве компонента, формирующего ячеистую структуру керамики, применялся гранулированный пеностеклокристаллический материал (ГПСМК) «Kerwood» производства ООО «Баскей Керамик» (г. Челябинск).

Исследования вещественного состава и керамико-технологических свойств сырьевых материалов проводились комплексом методов, включающих стандартные методики испытаний и прецизионные физико-химические методы анализа.

Химический состав сырья, полученный рентгенофлуоресцентным волнодисперсионным анализом на спектрометре Shimadzu XRF-1800, представлен в табл. 1.

По ГОСТ 9169–75 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация» ГПСМК и потанинский трепел относятся к кислому сырью ($Al_2O_3 < 14\%$) с высоким содержанием красящих оксидов ($Fe_2O_3 + TiO_2$ составляет 5–5,35%).

Гранулометрический состав потанинского трепела, установленный лазерным анализатором частиц Mastersiser-2000, представлен в табл. 2.

По ГОСТ 9169–75 потанинский трепел является низкодисперсным кремнеземсодержащим сырьем с низким содержанием крупнозернистых включений; 30% приходится на глинистую, 60% – на пылеватую фракции. Преобладающий средний размер частиц составляет 5–50 мкм. Гранулированный пеностеклокристаллический материал применялся с размером фракций –0,63+2,5 мм и контролировался методом ситового анализа.

Минеральный состав потанинского трепела представлен в основном кварцем, гидромусковитом и поле-

Таблица 1

Наименование сырья	Содержание оксидов, на сухое вещество, %									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	ППП
Потанинский трепел	75,13	0,66	8,21	4,69	1,26	0,79	1,01	1,22	0,08	6,32
ГПСМК «Kerwood»	78,43	0,45	7,81	4,45	0,75	0,22	6,24	1,65	–	–

Таблица 2

Наименование сырья	Содержание фракций, %, размер частиц, мм				
	>0,06	0,06–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
Потанинский трепел	–	4,4	13,7	51,7	30,2

Таблица 3

Наименование сырья	Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Водопоглощение, мас. %	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	Прочность при сжатии в цилиндре, МПа
ГПСМК «Kerwood»	240–300	0,07	8	0,02–0,2	1,6

Таблица 4

Наименование сырья	Порядковый номер и содержание компонента в составе шихты, %						
	1	2	3	4	5	6	7
ГПСМК «Kerwood»	0	5	15	25	35	50	75
Потанинский трепел	100	95	85	75	65	50	25

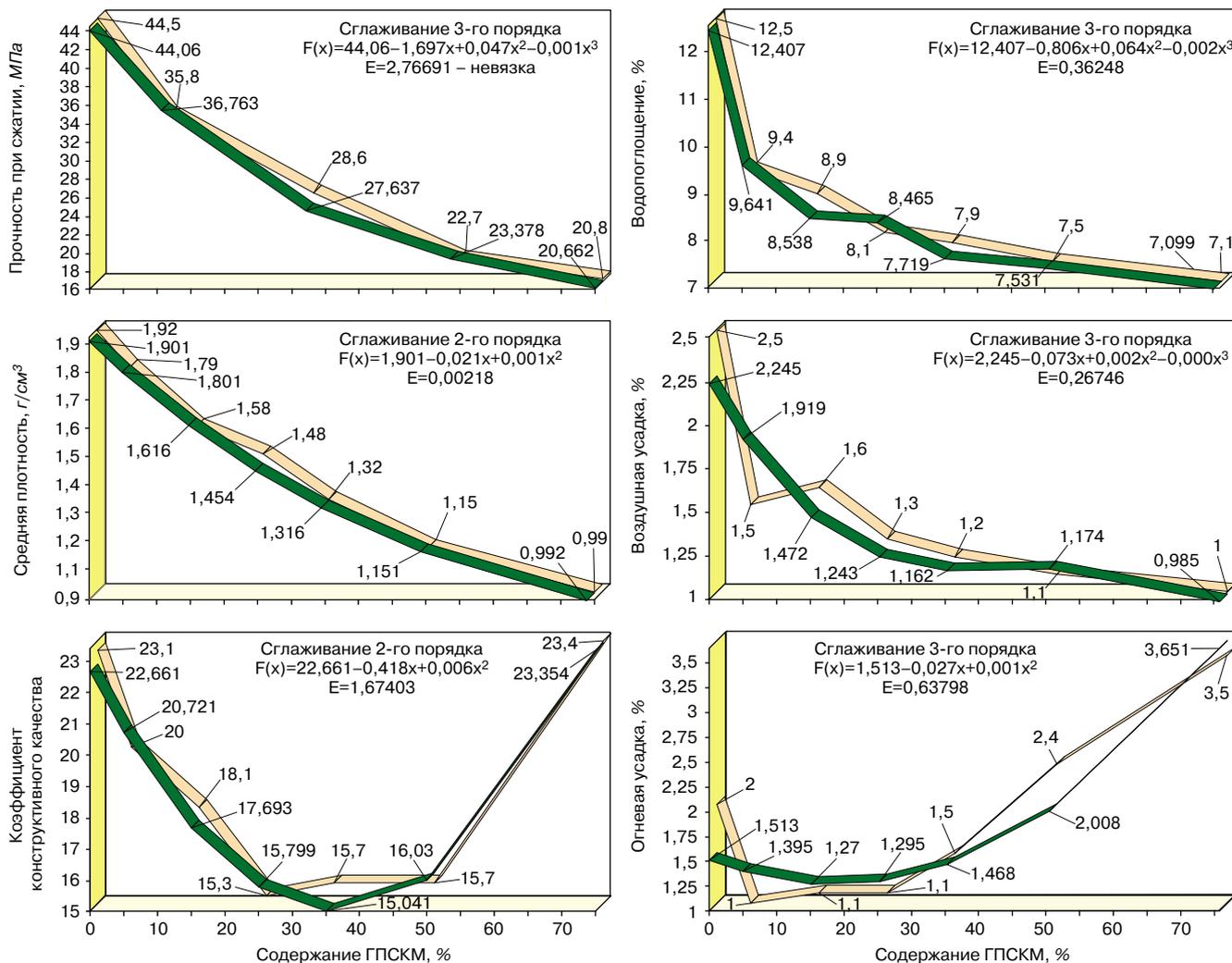


Рис. 2. Зависимость физико-механических свойств ячеистых керамических материалов с каркасом из дисперсных кремнеземосодержащих пород от содержания ГПСМК в составе шихты: ■ – без сглаживания; ■ – после сглаживания

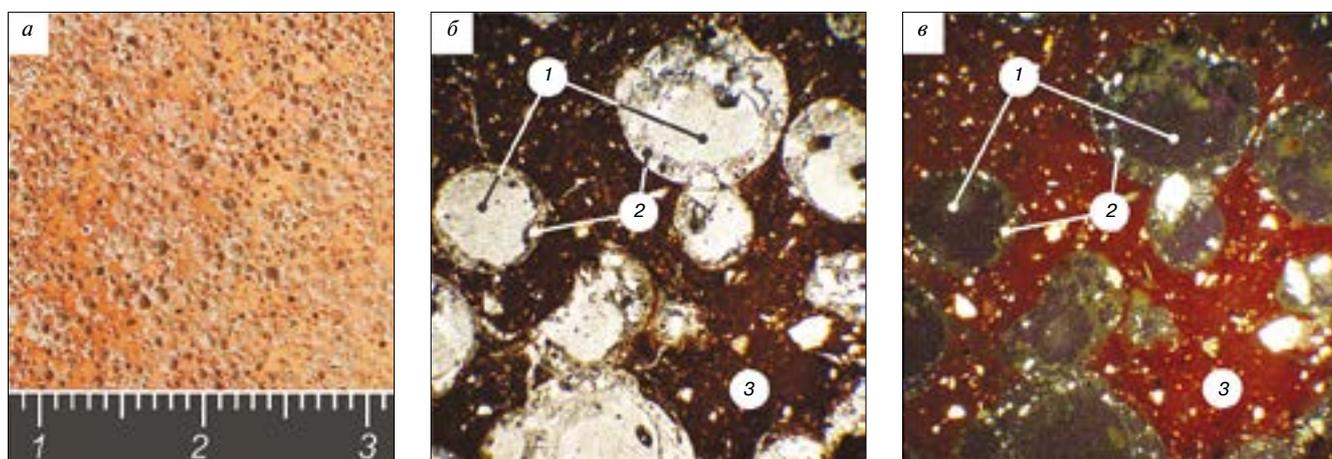


Рис. 3. Макроструктура ячеистой керамики на основе гранулированного пеностеклокристаллического материала и потанинского трепела. Аншлиф, отраженный свет (а); шлиф, проходящий свет, увеличение $\times 10$, николи II (б), николи + (в): 1 – пора; 2 – поровая скорлупа; 3 – твердая фаза

выми шпатами. Значительное рентгеноаморфное гало свидетельствует о большом количестве аморфного кремнезема. По гостовской классификации материал относится к сырью гидрослюдистого типа. ГПСМК состоит из рентгеноаморфной фазы, кварца и полевых шпатов, преимущественно анортитовой природы. Значительное содержание стеклофазы в гранулах также установлено рентгенографическими и петрографиче-

скими исследованиями. Стенки гранул остеклованы и водонепроницаемы, в них формируются более мелкие поры. Внешний вид материала, его пористая макро- и микротекстура приведены в работе [14]. Технические характеристики ГПСМК представлены в табл. 3.

По технологическим свойствам, определенным по ГОСТ 21216–2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний», потанинский трепел характеризуется как умерен-

Таблица 5

Наименование параметра	Значение параметра* согласно порядковому номеру шихты по табл. 4						
	1	2	3	4	5	6	7
Прочность при сжатии, МПа	$\frac{44,3}{43,507}$	$\frac{35,8}{37,318}$	$\frac{28,6}{28,256}$	$\frac{22,7}{22,809}$	$\frac{20,8}{20,016}$	$\frac{18,1}{18,692}$	$\frac{16,2}{16,102}$
Средняя плотность, г/см ³	$\frac{1,92}{1,901}$	$\frac{1,79}{1,8}$	$\frac{1,58}{1,616}$	$\frac{1,48}{1,454}$	$\frac{1,32}{1,316}$	$\frac{1,15}{1,151}$	$\frac{0,99}{0,992}$
Коэффициент конструктивного качества	$\frac{23,1}{22,661}$	$\frac{20}{20,721}$	$\frac{18,1}{17,693}$	$\frac{15,3}{15,799}$	$\frac{15,7}{15,041}$	$\frac{15,7}{16,03}$	$\frac{23,4}{23,354}$
Водопоглощение, %	$\frac{12,5}{11,79}$	$\frac{9,4}{10,487}$	$\frac{8,9}{8,736}$	$\frac{8,1}{7,886}$	$\frac{7,9}{7,649}$	$\frac{7,5}{7,809}$	$\frac{7,1}{7,043}$
Воздушная усадка, %	$\frac{2,5}{2,245}$	$\frac{1,5}{1,919}$	$\frac{1,6}{1,472}$	$\frac{1,3}{1,243}$	$\frac{1,2}{1,162}$	$\frac{1,1}{1,174}$	$\frac{1}{0,985}$
Огневая усадка, %	$\frac{2}{1,513}$	$\frac{1}{1,395}$	$\frac{1,1}{1,27}$	$\frac{1,1}{1,295}$	$\frac{1,5}{1,468}$	$\frac{2,4}{2,008}$	$\frac{3,5}{3,651}$

Примечание. * Над чертой – экспериментальные значения; под чертой – значения после математической обработки.

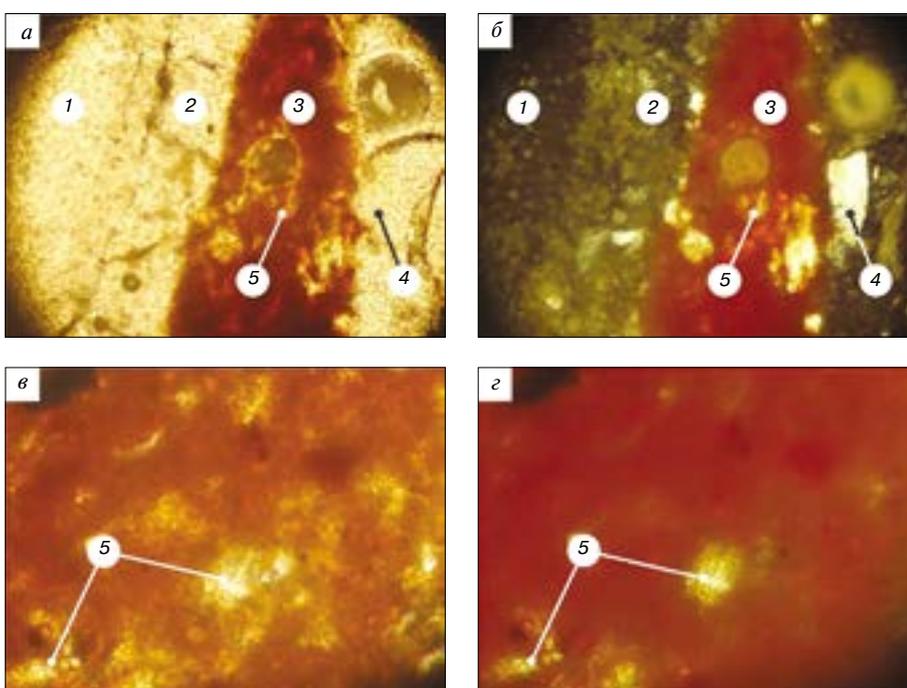


Рис. 4. Микроструктура межпорового каркаса ячеистой керамики на основе гранулированного пено-стеклокристаллического материала и потанинкого трепела. Шлиф, проходящий свет, увеличение $\times 50$, николи II (а), николи + (б); $\times 100$, николи II (в), николи + (г); 1 – пора; 2 – поровая скорлупа; 3 – твердая фаза; 4 – реликтовый минерал; 5 – криптокристаллические новообразования

но пластичное, среднечувствительное к сушке, неспекающееся сырье.

В соответствии с поставленной целью из гранулированных шихт были изготовлены серии керамических материалов, в которых последовательно изменялось содержание ГПСМК в количестве от 5 до 75%. Состав керамических шихт представлен в табл. 4.

На первом этапе были изготовлены лабораторные керамические образцы-цилиндры диаметром 45 мм и высотой 40–50 мм. В турболопастной смеситель-гранулятор загружались гранулы ГПСМК и при постоянном активном перемешивании увлажнялись до формовочной влажности 8–15%. Затем в гранулятор вводился высушенный тонкодисперсный трепел в процентном соотношении, приведенном в табл. 4. Использование турболопастной смесителя позволило добиться равномерного распределения кремнистого сырья по поверхности гранул из пеностекла и влажности по всему объему гранулированных пресс-масс. Из полученных гра-

нулированных шихт формовочной влажностью 10–11% прессовались образцы при удельном давлении 5 МПа. Сырцовые изделия сушились в сушильном шкафу до постоянной массы по ступенчатому режиму с максимальной температурой 105°C. Обжиг высушенных образцов проводился в течение 6–8 ч с выдержкой на максимальной температуре 900–950°C не менее 1,5 ч.

На втором этапе из оптимизированных составов шихт №№ 5, 6, 7 (табл. 4) в заводских условиях были изготовлены опытные образцы ячеистого керамического кирпича с размерами 250×120×65 мм, представленные на рис. 1.

Физико-механические свойства ячеистых керамических материалов в зависимости от содержания ГПСМК в составе шихты приведены в табл. 5 и на рис. 2.

Для снижения влияния случайных ошибок на результат эксперимента использовалась автоматизированная программа математической обработки экспериментальных данных. В основу ал-

горитма при разработке программы авторами был заложен метод аппроксимирующего многочлена способом Чебышева [15].

На третьем этапе были проведены исследования структуры и фазового состава ячеистого керамического материала.

На поперечном разрезе керамических образцов (рис. 1, 3) визуально наблюдается развитая поровая текстура материала. На рис. 3, а можно отметить равномерное распределение замкнутых пор округлой формы преимущественным размером 0,5–2 мм, схожее с классической структурой пено- и газобетона и отличающееся кирпично-красной окраской материала. Твердая фаза ячеистой керамики формируется в процессе обжига из опудривающего слоя дисперсной кремнеземсодержащей породы (трепела) по поверхности гранул из ГПСМК и образует пространственно-организованный каркас материала. В проходящем свете отчетливо выражена внешняя оболочка пор, так называемая скорлупа

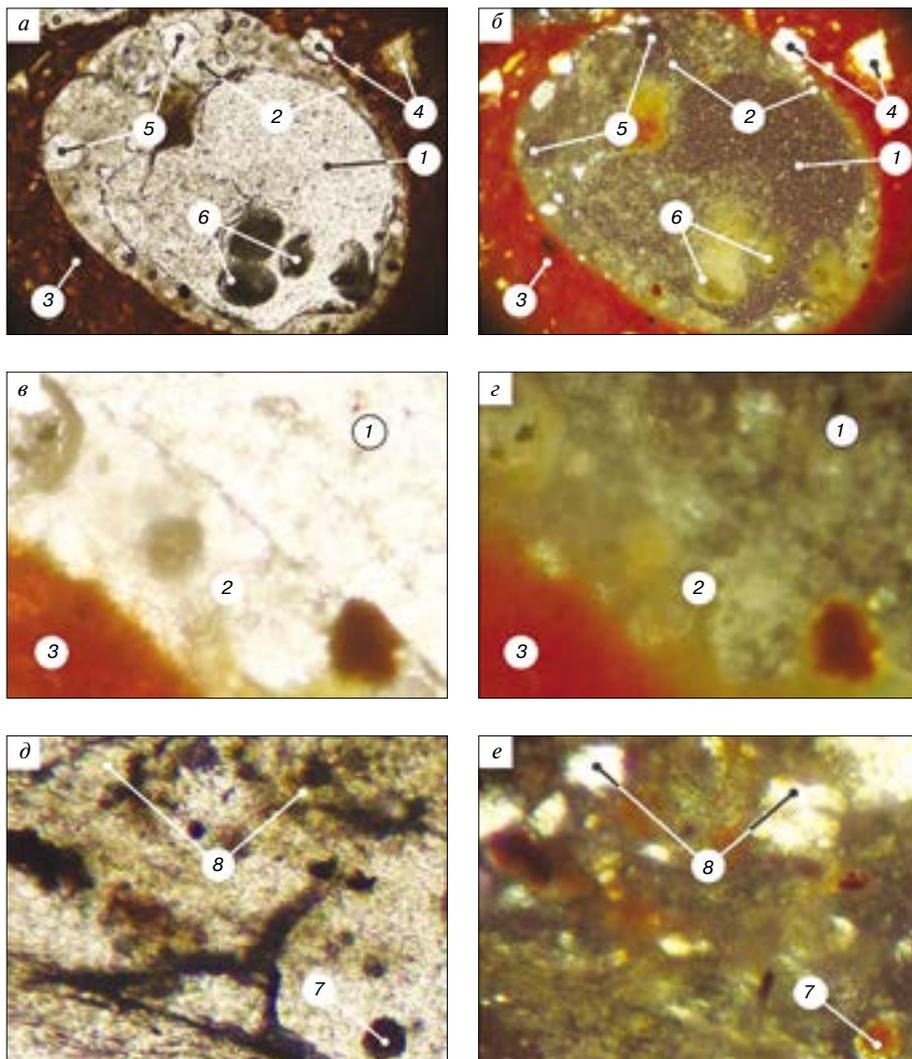


Рис. 5. Микроструктура замкнутых пор ячеистой керамики на основе гранулированного пеностеклокристаллического материала и потанинского трепела. Шлиф, проходящий свет, увеличение $\times 30$, николи II (а), николи + (б); $\times 80$, николи II (в), николи + (г); $\times 150$, николи II (д), николи + (е); 1 – пора; 2 – поровая скорлупа; 3 – твердая фаза стенок каркаса; 4 – реликтовый минерал; 5 – газовый пузырь; 6 – сферическая стекловыплавка внутри поры; 7 – пироксен; 8 – кристаллическая фаза

толщиной 0,1–0,3 мм (рис. 3, в). При скрещенных николях видно, что скорлупа состоит в основном из аморфизованного вещества (рис. 3, в).

Петрографическое исследование микроструктуры стенок межпорового каркаса ячеистой керамики подтверждает четкое зонирование на характерные фазы (рис. 4, а, б). В скрещенных николях практически без переходной зоны наблюдаются границы раздела между газовой фазой поры 1, стеклофазой ее скорлупы 2 и твердой фазой стенки каркаса 3. При большем увеличении (рис. 4, в, г), наряду с метаморфизованными обломками реликтовых минералов 4, наблюдаются крипстокристаллические высокотемпературные минеральные новообразования 5.

Детальное исследование микроструктуры пор ячеистой керамики из ГПСМ и потанинского трепела (рис. 5) показало, что внутрипоровое пространство частично заполнено стеклофазой, содержание которой в отдельных ячейках составляет до одной трети от их объема. В затвердевшем расплаве (рис. 5, а, б) наблюдаются пузырьки газа 5 диаметром 30–300 мкм. Напротив, в полости пор содержатся застывшие стекловыплавки каплевидной формы 6, что свидетельствует о переходе в расплав внутреннего вспененного вещества ГПСМ при обжиге со значительным уменьшением в объеме и образованием на месте гранул полых ячеек сферической формы. В скрещенных николях при большем увеличе-

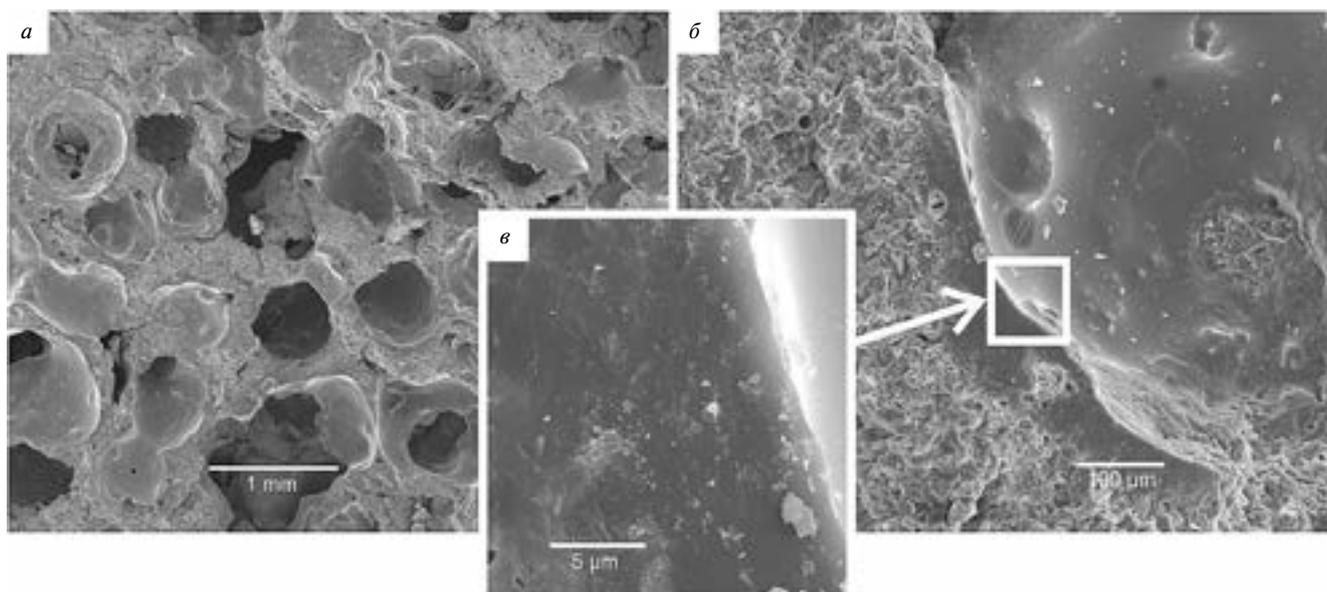


Рис. 6. СЭМ микрофотографии структуры ячеистой керамики на основе гранулированного пеностеклокристаллического материала и потанинского трепела: а – замкнутые равномерно распределенные поры округлой формы; б – граница поры; в – стеклокристаллическая фаза

нии (рис. 5, е) в стеклофазе выявлено значительное количество мелких идиоморфных и ксеноморфных кристаллов δ , определяющих стеклокристаллическую структуру внутреннего приповерхностного слоя полых сфер ячеистой керамики.

Схожую картину строения пор показывают исследования под сканирующим электронным микроскопом (рис. 6). По сечению пор на поверхности их внутреннего пространства практически повсеместно наблюдается образование монолитного стеклокристаллического слоя толщиной порядка 100 мкм (рис. 6, б), представляющего собой цельную сферическую водонепроницаемую оболочку. По всей толщине оболочки (скорлупы) можно отметить равномерное распределение кристалографической фазы с размерами зерен менее 1 мкм, встречающихся и более крупные кристаллы до 3–5 мкм (рис. 6, в).

По результатам исследования фазового состава ячеистой керамики методом рентгеновской дифрактометрии установлены следующие минеральные фазы: кварц, гематит, полевой шпат. Выраженное рентгеноаморфное гало на порошковых XRD-рентгенограммах свидетельствует о значительном количестве стеклофазы, что согласуется с результатами петрографии и электронной микроскопии.

Особенности ячеистой структуры обусловлены физико-химическими процессами формирования керамического материала из гранулированных пресс-масс, в которых равномерно распределены гранулы пеностекла. При обжиге в интервале температуры 850–900°C внутреннее вещество пеностеклокристаллических гранул переходит в пиропластичное состояние, и образовавшаяся из него жидкая фаза выстилает внутреннюю поверхность макропоры, оставшейся на месте гранулы, за счет сил парциального давления нагретой газовой фазы и сил поверхностного натяжения расплавленной жидкой фазы внутри гранулы. Кроме того, в ней растворяются частицы гидрослюд и частично несвязанного кварца, а из расплава образуются новые кристаллические фазы. В результате при охлаждении расплава на месте гранул образуются замкнутые равномерно распределенные водонепроницаемые макропоры со стеклокристаллической оболочкой, обеспечивающие формирование ячеистой структуры керамики.

Формирование водонепроницаемой стеклокристаллической оболочки по поверхности макропор обеспечивает низкие значения водопоглощения (7–7,5%) и высокую морозостойкость (более 50 циклов) ячеистой керамики со средней плотностью 950–1300 кг/м³.

Выводы по результатам исследования:

- запатентованным способом, включающим грануляцию пеностеклокристаллических гранул и потанинского трепела, компрессионное прессование изделий, их сушку и обжиг, получены ячеистые керамические материалы с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород;

- определены основные физико-механические свойства полученных ячеистых керамических материалов: прочность при сжатии 16–20 МПа; средняя плотность 950–1300 кг/м³; водопоглощение 7–7,5%;

- установлен минеральный фазовый состав ячеистой керамики: кварц, полевой шпат и гематит;

- установлены особенности ячеистой структуры стеновых керамических материалов с каркасом из дисперсных кремнеземсодержащих пород. Формирование в теле керамики замкнутых равномерно распределенных макропор, имеющих стеклокристаллическую водонепроницаемую оболочку, обеспечивает высокие эксплуатационные показатели изделий.

Список литературы

1. Кудяков А.И., Ковальчук А.А., Бондаренко Т.Ю., Стешенко А.Б. Управление технологическими процессами жизненного цикла продукции СМК. *Материалы XVII Международной научно-практической конференции*. Томск: ТПУ, 2012. С. 70–74.
2. Письмо Госстроя России от 01.02.2000 г. № НМ-368/3 «О теплозащите строящихся и эксплуатируемых зданий». *Информационный бюллетень «Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве»* № 2. 2000.
3. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНИП «Тепловая защита зданий» // *Жилищное строительство*. 2011. № 8. С. 2–6.
4. Павлов В.Ф., Шабанов В.Ф. Использование пеносиликата из золошлаковых отходов для производства безобжигового кирпича // *Строительные материалы*. 2001. № 7. С. 22–23.
5. Копаница Н.О., Кудяков А.И., Саркисов Ю.С. Стеновые строительные материалы на основе модифицированных торфов Сибири. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. 295 с.
6. Котляр В.Д., Явруян Х.С. Стеновые керамические изделия на основе тонкодисперсных продуктов переработки терриконов // *Строительные материалы*. 2017. № 4. С. 38–41.
7. Бессонов И.В., Шигапов Р.И., Бабков В.В. Теплоизоляционный пеногипс в малоэтажном строительстве // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 9–12.
8. Казанцева Л.К., Верещагин В.И., Овчаренко Г.И. Вспененные стеклокерамические теплоизоляционные материалы из природного сырья // *Строительные материалы*. 2001. № 4. С. 33–34.
9. Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А. Получение ячеистого керамобетона на основе высококонцентрированных вяжущих суспензий // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2007. № 9. С. 28–31.
10. Котляр В.Д., Козлов А.В., Котляр А.В. Высокоэффективная стеновая керамика на основе пористопустотелого силикатного заполнителя // *Научное обозрение*. 2014. № 10-2. С. 392–395.
11. Казанцева Л.К., Пузанов И.С., Никитин А.И. Пенокерамика. Особенности изготовления и ее свойства. *Наукоемкие технологии и инновации (XXII научные чтения). Технологии строительных и композиционных материалов: Сборник докладов Международной научно-практической конференции*. Белгород: БГТУ, 2016. Ч. 1. С. 143–147.
12. Патент РФ № 2593832. *Способ изготовления стеновых керамических изделий* / Иванов А.И., Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Заявл. 08.06.2015. Опубл. 10.08.2016. Бюл. № 22.
13. Иванов А.И., Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Принципы создания оптимальных структур керамического кирпича полусухого прессования // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 65–70.
14. Столбоушкин А.Ю., Фомина О.А., Иванов А.И. Получение ячеистой керамики с пространственным стеклокристаллическим каркасом. *Наукоемкие технологии и инновации (XXII научные чтения). Технологии строительных и композиционных материалов: Сборник докладов Международной научно-практической конференции*. Белгород: БГТУ, 2016. Ч. 1. С. 390–395.
15. Столбоушкин А.Ю., Зоря В.Н. Разработка и использование автоматизированной программы математической обработки результатов эксперимента. *Новые строительные технологии 2005: Сборник научных трудов*. Новокузнецк: СибГИУ, 2005. С. 200–209.

References

1. Kudyakov A.I., Koval'chuk A.A., Bondarenko T.Yu., Steshenko A.B. QMS Management of technological processes of products life cycle. *Proceedings of XVII International scientific and practice conf.* Tomsk: TPU. 2012, pp. 70–74. (In Russian).
2. Letter of the State Construction Committee of Russia from 01.02.2000 No. NM-368/3 «About heat protection of buildings under construction and operated buildings» *Newsletter «Normalization, standardization and certification in the construction»* No. 2. 2000. (In Russian).
3. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Requirements for heat protection and energy efficiency in the project of the updated Construction Norms & Regulations «Thermal protection of buildings». *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 8, pp. 2–6. (In Russian).
4. Pavlov V.F., Shabanov V.F. Use of foam silicate from ash and slag wastes for the production of unburned bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2001. No. 7, pp. 22–23. (In Russian).
5. Kopanica N.O., Kudyakov A.I., Sarkisov Yu.S. Stenovye stroitel'nye materialy na osnove modifitsirovannykh torfov Sibiri [Wall building materials based on modified peat of Siberia]. Tomsk: TSUAB. 2013. 295 p. (In Russian).
6. Kotlyar V.D., Yavruyan H.S. Wall ceramic products based on fine dispersed products of recycling of refuse heap. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 4, pp. 38–41. (In Russian).
7. Bessonov I.V., Shigapov R.I., Babkov V.V. Heat-insulation foamed gypsum in low-rise construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 9–12. (In Russian).
8. Kazanceva L.K., Vereshchagin V.I., Ovcharenko G.I. Foamed glass-ceramic heat-insulation materials from natural raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2001. No. 4, pp. 33–34. (In Russian).
9. Evtushenko E.I., Peretokina N.A. Production of cellular ceramoconcrete based on highly concentrated binding suspensions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2007. No. 9, pp. 28–31. (In Russian).
10. Kotlyar V.D., Kozlov A.V., Kotlyar A.V. Highly effective wall ceramics based on porous-hollow silicate aggregate. *Nauchnoe obozrenie*. 2014. No. 10, pp. 392. (In Russian).
11. Kazanceva L.K., Puzanov I.S., Nikitin A.I. Foam ceramics. Features of manufacture and its properties. *High Tech and Innovation (XXII Scientific Conference). Technology and construction of composite materials: Proceedings of the international scientific-practical conference*. Belgorod: BGTU. 2016. Vol. 1, pp. 143–147. (In Russian).
12. Patent RF 2593832. *Sposob izgotovleniya stenovykh keramicheskikh izdelij* [Method of manufacturing wall ceramic products]. Ivanov A.I., Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I. Declared 08.06.2015. Published 10.08.2016. Bulletin No. 22. (In Russian).
13. Ivanov A.I., Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I. Principles of optimal structure formation of ceramic semi-dry pressed brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 65–70. (In Russian).
14. Stolboushkin A.Yu., Fomina O.A., Ivanov A.I. Production of cellular ceramics with a vitro-crystalline space frame. *High Tech and Innovation (XXII Scientific Conference). Technology and construction of composite materials: Proceedings of the international scientific-practical conference*. Belgorod: BGTU. 2016. Vol. 1, pp. 390–395. (In Russian).
15. Stolboushkin A.Yu., Zorya V.N. Development and use of software for mathematical processing of the experimental results. *New construction technologies 2005: a collection of scientific papers*. Novokuzneck: SibSIU. 2005, pp. 200–209. (In Russian).



Торстен Бертельс, Сбыт / Руководитель сервисной службы

KELLER
Creating Solutions

Наша компания известна не только благодаря высочайшему качеству выпускаемых для керамической промышленности заводов, машин и оборудования, но также благодаря превосходному сервисному обслуживанию, которое намного превышает обычные стандарты. Круглосуточная горячая линия, профессиональный менеджмент запасных частей, рассчитанная на индивидуального заказчика программа обучения персонала, модернизация оборудования на существующих заводах – это лишь часть предлагаемых нами услуг.

Мы предлагаем также обслуживание на месте – на языке Вашей страны, по телесервису и благодаря охватывающей весь мир сервисной сети, непосредственно на Вашем заводе. Для получения подробной информации посетите нас на выставке "Кераматех" 2018 в Москве или обращайтесь по телефону + 49 545 1 85-504 или по электронной почте torsten.baertels@keller.de.

KELLER A DIVISION OF GROUP HUBER INDUSTRIES