

Составы и свойства пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя и высококальциевого шлака

Аспирант Д.Г. Портнягин*;
К.т.н., доцент Ю.В. Селиванов;
Д.т.н., профессор В.М. Селиванов;
Д.т.н., профессор А.Д. Шильцина,

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет

Ключевые слова: пеностеклокристаллические материалы; гранулированные материалы; блочные материалы; стеклобой; высококальциевый шлак

Пеностеклокристаллические материалы с высокими показателями теплофизических и механических свойств из композиций с пониженным расходом стеклобоя, дефицитного как вида сырья, наиболее перспективны для теплоизоляции строительных конструкций. Разработка составов и исследование свойств таких материалов весьма актуальны [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Решение этих задач позволит расширить производство пеностеклокристаллических материалов на территории России.

К настоящему времени исследованы составы и свойства пеностеклокристаллических материалов из композиций, в которых уменьшение расхода стеклобоя достигается его частичной или полной заменой диатомитом, трепелом, опокой, перлитом [7, 8, 9]. Однако перечисленные виды сырья для многих регионов России, в том числе Сибири, являются привозными, а значит, с экономической точки зрения неэффективными для применения в пеностеклокристаллических материалах.

В данной работе приведены результаты исследования свойств пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя и высококальциевого шлака от сгорания бурых углей Канско-Ачинского бассейна, на которых работают ТЭЦ Хакасии, Красноярского и Алтайского краев, Новосибирской области.

При проведении исследований в композициях со стеклобоем из смеси оконного и тарного стекла в соотношении 1:1 использовали шлак жидкого шлакоудаления Абаканской ТЭЦ. Средний химический состав применяемых сырьевых компонентов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав сырьевых компонентов

Наименование сырья	Содержание оксидов, % мас.							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Стеклобой	67,40	5,81	1,76	7,21	3,38	12,73	2,00	–
Высококальциевый шлак	50,69	8,09	8,94	27,51	3,50	0,27	0,20	0,8

В соответствии с данными, приведенными в работе [10], определили, что высококальциевый шлак относится к кислым. Рентгенофазовым анализом установили, что он имеет подобное стеклобою аморфное строение. Высококальциевый шлак сложен в основном (80-90%) стеклофазой кальций-ферроалюмосиликатного состава и кристаллофазой (10-20%) из минералов кварца, анортита, диопсида и волластонита. Химический состав шлака и сходство аморфного строения шлака и стеклобоя явились предпосылкой к его использованию в качестве эффективного заменителя части стеклобоя в композициях. А небольшое содержание анортита, диопсида и волластонита в виде кристаллической фазы в шлаке дало основание предположить возможность повышения прочности пеностеклокристаллических материалов с его использованием в составах композиций.

При исследовании составов композиций исходили из условия их вспенивания после обжига при температуре 800-850°C, обычно применяемой для получения пеностекла [2, 9]. Поэтому стеклобой как активатор плавления композиций измельчали до тонкости, характеризуемой остатком не более 5% на сите с размером ячейки 0,063 мм, применяемой для обеспечения образования расплава при температуре 700-800°C в обжиговых материалах [11, 12]. Шлак как вовлекаемый компонент измельчали в меньшей степени – до полного прохождения частиц через сито с размером ячейки 0,16 мм, экспериментально установленным в качестве оптимальной тонкости помола.

Портнягин Д.Г., Селиванов Ю.В., Селиванов В.М., Шильцина А.Д. Составы и свойства пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя и высококальциевого шлака

Изготовление гранулированных и блочных пеностеклокристаллических материалов проводили с учетом экспериментально установленных оптимальных технологических условий [13]. Так, изготовление гранулированных пеностеклокристаллических материалов проводили путем грануляции композиций из смеси стеклобоя и шлака на тарельчатом грануляторе с применением в качестве связки жидкого стекла с плотностью 1400 кг/м^3 в количестве 30% с последующим обжигом полученных гранул. Для обжига гранулы диаметром 8-10 мм укладывали на огнеупорные подложки на расстоянии друг от друга. Получение блочных пеностеклокристаллических материалов проводили путем обжига подготовленного гранулята свободно засыпанного в металлические формы размером $250 \times 120 \times 90$ мм на $1/3$ их объема. Обжиг гранулированных и блочных пеностеклокристаллических материалов проводили в течение 3 часов до температуры 800°C с выдержкой 20 мин при конечной температуре.

Из показателей свойств исследованных гранулированных пеностеклокристаллических материалов, приведенных в табл.2, установили, что наилучшее их сочетание достигается при использовании в составе композиций высококальциевого шлака в количестве 30-40%. Насыпная плотность и коэффициент теплопроводности гранулированных материалов из композиций с добавкой шлака в количестве 30-40% ниже насыпной плотности и коэффициента теплопроводности гранулированного материала, полученного по той же технологии из стеклобоя без добавки шлака. При этом материалы характеризуются более высоким коэффициентом конструктивного качества, определяемого отношением прочности при сжатии в цилиндре к его насыпной плотности (0,054-0,056 против 0,043), а сами гранулы имеют более высокую прочность при сжатии (4,1-4,5 против 1,8 МПа). По совокупности свойств исследованные гранулированные пеностеклокристаллические материалы из композиций с содержанием шлака в количестве 30-40% превосходят применяемое гранулированное пеностекло.

Таблица 2. Состав и свойства исследованных гранулированных пеностеклокристаллических материалов из композиций с различным содержанием шлака

Компонент	Состав композиций					Гранулированное пеностекло ТУ 5914-001-73893595-2005
	1	2	3	4	5	
	Содержание компонента в составе, % мас.					
Стеклобой	100	80	70	60	50	
Высококальциевый шлак	–	20	30	40	50	
Жидкое стекло	30	30	30	30	30	
Показатель свойства						
Температура обжига, $^\circ\text{C}$	800	800	800	800	800	
Диаметр гранул, мм	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
Насыпная плотность, кг/м^3	220-230	190-200	180-190	190-200	240-250	150-200
Прочность при сжатии в цилиндре, МПа	1,2	0,9	1,0	1,1	1,2	до 0,5-1,0
Прочность гранул, МПа	1,8	3,2	4,5	4,1	3,9	
Коэффициент конструктивного качества	0,053	0,046	0,054	0,056	0,050	0,043
Водопоглощение по объему, % об.	4,1-4,7	1,2-1,8	2,8-3,4	3,1-3,7	2,1-2,7	≤ 10
Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$	0,060-0,068	0,053-0,060	0,049-0,057	0,053-0,061	0,066-0,074	0,053-0,062

Свойства исследованных в работе блочных пеностеклокристаллических материалов, изготовленных на основе гранулята из композиций стеклобоя с добавкой высококальциевого шлака в количестве 30% (состав 1) и 40% (состав 2), приведены в табл. 3, где для сравнения указаны свойства применяемого в строительстве блочного пеностекла. Исследованные блочные пеностеклокристаллические материалы превосходят применяемое пеностекло по коэффициенту конструктивного качества при незначительном увеличении коэффициента теплопроводности.

Таблица 3. Свойства исследованных блочных пеностеклокристаллических материалов

Показатель свойства*	Блочный пеностеклокристаллический материал		Блочное пеностекло ТУ 5914-001-73893595-2005
	Состав 1	Состав 2	
Температура обжига, °С	800	800	
Плотность средняя, кг/м ³	320-330	340-350	300-400
Прочность при сжатии, МПа	4,1-4,5	4,9-5,3	1,5-3,5
Коэффициент конструктивного качества	0,132	0,148	0,071
Водопоглощение, % об.	3,4-4,8	2,9-3,4	≤10
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	0,077-0,091	0,086-0,091	0,060-0,075

* – свойства образцов из пяти партий образцов

Высокая прочность исследованных пеностеклокристаллических материалов обуславливается их структурой и фазовым составом. Проведенные исследования показали, что структура пеностеклокристаллических материалов характеризуется наиболее благоприятным для прочности равномерным распределением пор меньших размеров (0,5-0,8 мм) между порами больших размеров (1,3-1,5 мм) по всему объему гранул и блоков (рис. 1). Материалы сложены преимущественно аморфной фазой с содержанием кристаллофазы в количестве 10-15%, которая представлена волластонитом и анортитом, упрочняющими материалы [11, 12].

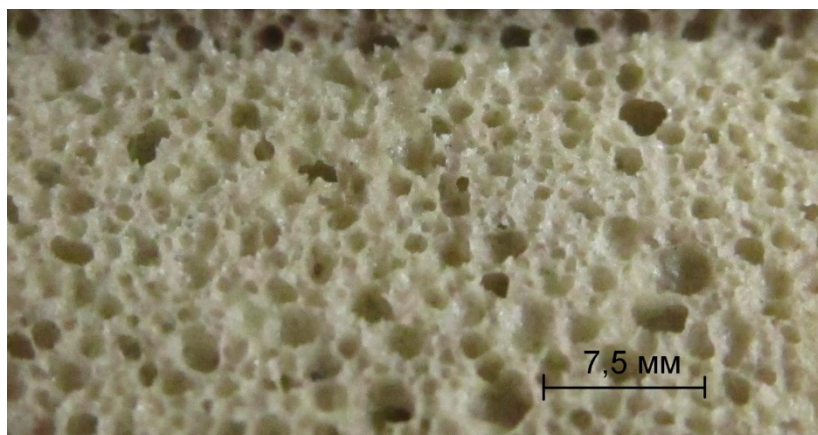


Рисунок 1. Микроструктура пеностеклокристаллического материала из композиции стеклобоя и высококальциевого шлака в количестве 30%

Данные дифференциально-термического анализа показали, что исследованные материалы вплоть до 800°С не испытывают потерь массы, а максимальное их значение, соответствующее температуре 950°С, составляет всего 0,25%. Эти результаты свидетельствуют о плавлении материала при нагревании без превращений, связанных с выделением газообразных продуктов, что позволяет их отнести к группе негорючих.

Анализ совокупности полученных результатов исследования показывает, что пеностеклокристаллические материалы из композиций с использованием высококальциевого шлака по сравнению с пеностеклом могут иметь преимущество по гигроскопичности за счет очень низкого объемного водопоглощения (табл. 2, 3). Это очень важно для сохранения стабильности их теплоизоляционных свойств в процессе эксплуатации, так как при увеличении влажности теплоизоляционных материалов за счет гигроскопичности всего на 5% их теплоизоляционная способность уменьшается почти в 2 раза [14]. Теплоизоляция из исследованных пеностеклокристаллических материалов по сравнению с теплоизоляцией из пеностекла сравнимой плотности может выдержать более высокие нагрузки без снижения качества за счет более высокого коэффициента конструктивного качества (табл. 2, 3).

Портнягин Д.Г., Селиванов Ю.В., Селиванов В.М., Шильцина А.Д. Составы и свойства пеностеклокристаллических материалов из композиций стеклобоя и высококальциевого шлака

При пожаре исследованные пеностеклокристаллические материалы, в отличие от волокнистых минераловатных или стекловатных изделий, содержащих не менее 5% связующего полимера, не выделяют токсичных веществ [2]. Кроме того, применение пеностеклокристаллических материалов, сравнимых по стоимости с пеностеклом за счет их одинаковой технологии изготовления, но получаемых из композиций, включающих высококальциевый шлак в значительных (30-40%) количествах, обеспечит снижение экономических издержек [10], связанных с его утилизацией.

Таким образом, выполненные исследования показывают, что композиции из смеси стеклобоя и высококальциевого шлака в количестве 30-40%, гранулированные с применением жидкого стекла, после обжига при температуре 800°C обеспечивают получение гранулированных и блочных пеностеклокристаллических материалов, способных конкурировать с другими видами теплоизоляционных материалов. Насыпная плотность гранулированных пеностеклокристаллических материалов составляет 180-200 кг/м³, прочность при сжатии в цилиндре 1,0-1,1 МПа. Средняя плотность блочных материалов составляет 320-400 кг/м³, прочность при сжатии 4,1-5,3 МПа.

Литература

1. Апкарян А. С., Христюков В. Г., Смирнов Г. В. Гранулированная пеностеклокерамика – перспективный теплоизоляционный материал // Стекло и керамика. 2008. № 3. С. 10-12.
2. Маневич В. Е., Субботин К. Ю. Пеностекло и проблемы энергосбережения // Стекло и керамика. 2008. № 4. С. 3-6.
3. Vereshchagin V. I., Sokolova S. N. Effect of technological parameters on the properties of granular porous crystal glass material based on ceolite-bearing // Glass Ceram. 2009. No. 66. Pp. 46-49.
4. Fernandes H. R., Tylyaganov D. U., Ferreira I. M. F. Preparation and Characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents // Ceram Int. 2009. No. 35. Pp. 229-239.
5. Bernardo E., Cedro R. et. al. Reutilization and stabilization of wastes by the production of glass foams // Ceram Int. 2007. No. 33. Pp. 963-968.
6. Bobkova N. M., Barantseva S. E., Trusova E. E. Production of foam glass with granite siftings from the Mikashevich deposit // Glass Ceram. 2007. No. 64. Pp. 47-50.
7. Иванов К. С., Радаев С. С. Обжиговый теплоизоляционный материал из диатомита и щелочи // Строительные материалы. 2010. №11. С. 36-37.
8. Иванов Н. К., Иванов К. С. Получение ячеистого стекла на основе опаловых пород // Приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы». 2004. № 5. С. 13-14.
9. Казьмина О. В., Верещагин В. И., Семухин Б. С., Абияка А. Н. Низкотемпературный синтез стеклогранулята из шихт на основе кремнеземсодержащих компонентов // Стекло и керамика. 2009. № 10. С. 5-7.
10. Ватин Н. И., Петросов Д. В., Калачев А. И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 16-21.
11. Будников, П. П., Бережной А. С. Химическая технология керамики и огнеупоров. М. : Стройиздат, 1972. 552 с.
12. Кингери У. Д. Введение в керамику. М. : Стройиздат, 1967. 449 с.
13. Портнягин Д. Г., Селиванов Ю. В., Селиванов В. М. Пеноситаллы на основе техногенного сырья // Вестник Хакасск. техн. ин-та – филиала Сибирского федерального университета. 2008. № 26. С. 91-94.
14. Бердюгин И. А. Теплоизоляционные материалы в строительстве. Каменная вата или стекловолокно: сравнительный анализ // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 26-31.

**Денис Геннадьевич Портнягин, Абакан, Россия*

Тел. раб.: +7(3912)35-73-05, доб.221; эл. почта: my4455@yandex.ru

doi: 10.5862/MCE.26.4

Composition and properties of foam glass crystal materials from compound of broken glass and high calcium slag

**D.G. Portnyagin,
Yu.V. Selivanov;
V.M. Selivanov;
A.D. Shiltsina,**

*Khakas Technical Institute – branch of Siberian Federal University, Abakan, Russia
+7(3912)35-73-05; e-mail: my4455@yandex.ru*

Key words

foam glass crystal materials; granulated; modular; broken glass; high calcium slag

Abstract

The aim of this work is to decrease the consumption of broken glass shortage for obtaining heat insulation materials on its base. The results of research of composition and properties of foam glass crystal materials from compounds of broken glass and high calcium slag obtained in burning of brown coal in Kansk-Achinsk field are shown.

It is stated that compounds from mixture of broken glass and high calcium slag in quantity of 30-40% granulated with 30% of liquid glass of density 1400 kg/m^3 after burning pending 3 hours with endurance 20 minutes at 800°C provide the production of granulated and modular foam crystal materials. Bulk density of granulated materials is $180\text{-}200 \text{ kg/m}^3$, compressive strength in cylinder is 1,0-1,1 MPa. Average density of modular materials is $320\text{-}400 \text{ kg/m}^3$, compressive strength is 4,1-5,3 MPa.

References

1. Apkariyan A. S., Hristyukov V. G., Smirnov G. V. *Glass and ceramic*. 2008. No. 3. Pp. 10-12.
2. Manevich V.E., Subbotin K. Yu. *Glass and ceramic*. 2008. No. 4. Pp. 3-6.
3. Vereshchagin V. I., Sokolova S. N. Effect of technological parameters on the properties of granular porous crystal glass material based on ceolite-bearing. *Glass Ceram*. 2009. No. 66. Pp. 46-49.
4. Fernandes H. R., Tylyaganov D. U., Ferreira I. M. F. Preparation and Characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents. *Ceram Int*. 2009. No. 35. Pp. 229-239.
5. Bernardo E., Cedro R. et. al. Reutilization and stabilization of wastes by the production of glass foams. *Ceram Int*. 2007. No. 33. Pp. 963-968.
6. Bobkova N. M., Barantseva S. E., Trusova E. E. Production of foam glass with granite siftings from the Mikashevich deposit. *Glass Ceram*. 2007. No. 64. Pp. 47-50.
7. Ivanov K. C., Radaev S. S. *Construction materials*. 2010. No. 11. Pp. 36-37.
8. Ivanov N. K., Ivanov K. C. *Construction materials*. Supplement to the journal. 2004. No. 5. Pp. 13-14.
9. Kazmina O. V., Vereshchagin V. I., Semuhin B. S., Abiyaka A. N. *Glass and ceramic*. 2009. No. 10. Pp. 5-7.
10. Vatin N. I., Petrosov D. V., Kalachev A. I., Lahtinen P. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 4. Pp. 16-21.
11. Budnikov P. P., Bereznoi A. S. *Himicheskaya tehnologiya keramiki i ogneuporov* [Chemical technology of ceramics and refractory]. Moscow: Stroyizdat, 1972. 552 p.
12. Kingeri U. D. *Vvedenie v keramiku* [Introduction to ceramics]. Moscow: Stroyizdat, 1967. 449 p.
13. Portnyagin D. G., Selivanov Yu. V., Selivanov V. M. *Vestnik Khti – branch of Siberian Federal Univesity*. Abakan. 2008. No. 26. Pp. 91-94.
14. Berdyugin I. A. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 1. Pp. 26-31.

Full text of this article in Russian: pp. 25-28

Portnyagin D.G., Selivanov Yu.V., Selivanov V.M., Shiltsina A.D. Composition and properties of foam glass crystal materials from compound of broken glass and high calcium slag