

ное легирование углеродистых сталей – ресурсосберегающий процесс / *Л.О. Чуняева, И.И. Заец, О.Н. Чуняев* // Физико-химическая механика материалов. – 2002. – № 3. – С. 483 – 488. **7.** *Arai T.* Chromizing and Bonding by Use of a Fluidized Bed / *T. Arai, J. Endo, H. Takeda* : Proceedings of the International Congress' 5th Heat Treatment of Materials Conference, 20 – 24 Oct 1986. – P. 1335 – 1341. **8.** *Дубинин Г.Н.* Диффузионное хромирование сплавов / *Г.Н. Дубинин*. – М.: Машиностроение, 1964. – 451 с. **9.** *Мельник П.И.* Диффузионное насыщение железа и твердофазные превращения в сплавах / *П.И. Мельник*. – М.: Металлургия, 1993. – 128 с. **10.** *Товажнянский Л.Л.* Нанотехнология в химико-термической обработке железоуглеродистых сплавов / [*Л.Л. Товажнянский, О.Н. Чуняев, И.И. Заец, Л.О. Чуняева*] // ИТЕ. – 2007. – № 3. – С. 109 – 120. **11.** *Минкевич А.Н.* Химико-термическая обработка металлов и сплавов / *А.Н. Минкевич*. – М.: Машиностроение, 1965. – 389 с. **12.** *Лахтин Ю.М.* Химико-термическая обработка металлов / *Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов*. – М.: Металлургия, 1985. – 256 с. **13.** *Лякишев Н.П.* Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник в 3 т. / *Н.П. Лякишев*. – М.: Металлургия, 1996. – Т. 2. – 1023 с. **14.** *Раузин Я.Р.* Термическая обработка хромистой стали / *Я.Р. Раузин*. – [4-е изд.]. – М.: Машиностроение, 1978. – 277 с.

*Поступила в редколлегию 13.05.09*

УДК 621.039.58

**А.П. ЯЦЕНКО**, аспирант,

**Б.Ю. КОРНИЛОВИЧ**, чл.-корр. НАН Украины, докт. хим. наук,

**П.С. РАДЧЕНКО**, магистр, НТУУ «КПИ»

## **ПЕНОСТЕКЛО С АНГОБНЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

В роботі досліджено основні фізичні та хімічні властивості отриманого високопористого скловидного матеріалу, який може бути використано в якості основи для нанесення масообмінних покриттів. Встановлено, що процес отримання піноскла з відкритими порами суттєво залежить від таких параметрів, як температура проведення процесу вспінювання, час витримки, кількість вспінювача. Визначено область оптимуму в температурно-часових залежностях для середнього розміру пор матеріалу та відкритої пористості.

The main chemical and physical properties of high-porous glass material which may be used as the base for angober coatings have been investigated. It was established that the values of open porous essential depended on such parameters as temperature of process, exposure time at maximum temperature, expanding agent quantity. The optimum region of values of parameters for foamglass processing has been determined.

Одним из эффективных методов увеличения удельной ёмкости для массообменных покрытий является нанесение их на пористые носители с развитой удельной поверхностью [1]. Такими носителями являются различные высокопористые ячеистые материалы. Одним из представителей данного класса материалов может служить вспененное по определённой технологии стекло [2], которое может выступать в качестве подложки-носителя функциональных покрытий. Это связано с уникальной комбинацией его свойств: развитой поверхностью, открытой ячеистой структурой и высокой проницаемостью [3, 4], а также стойкостью к высоким эксплуатационным температурам (500 °С и выше) [2, 5]. Кроме того, пеностекло обладает стойкостью к воздействию многих агрессивных сред, жёсткого ионизирующего излучения и перепада температур. Ни один полимерный органический материал не обладает набором таких свойств. Пеностекло, обладая витрифицирующими свойствами, может применяться в качестве матрицы для иммобилизации тяжелых металлов и радионуклидов. Для этого на его ячеистую поверхность наносят ангобное покрытие, представляющее собой сорбент, на котором будут концентрироваться ионы радионуклидов и тяжелых металлов. Впоследствии, его остекловывают при температурах порядка 900 °С, что способствует созданию надёжного барьера для выхода вредных веществ в окружающую среду [6].

Поэтому целью данной работы исследование влияния температурно-временного режима и количества вспенивателя на основные физико-химические свойства пеностекла для оптимизации получения качественных ангобных покрытий.

**Материалы и методы.** В данной работе пеностекло с открытой пористостью получали вспениванием порошка натрийалюмосиликатного стекла фракцией < 0,1 мм с использованием в качестве вспенивающего агента карбоната кальция с различными добавками. Порошок стекла готовили путём помола фритты в шаровой мельнице с последующим просевом через соответствующее сито. Затем его смешивали с тонкоизмельчённым вспенивателем в количестве от 1 до 3 % (сверх массы стеклопорошка) с шагом 0,5 %. Процесс вспенивания исследовали в интервале температур от 810 до 890 °С с шагом в 20 °С с выдержкой 7 – 15 мин. После процесса вспенивания следовало резкое снижение температуры до 650 °С для фиксации структуры и медленное охлаждение образцов для снятия напряжений. Для полученных образцов исследовали открытую пористость по стандартной методике, а также сред-

ний размер пор методом световой микроскопии.

По полученным результатам были построены графические зависимости и определена область оптимума для влияющих на процесс факторов.

Образцы пеностекла с оптимальными значениями среднего размера пор и величины открытой пористости подвергались ангобированию путём пропитки шликером, приготовленным из тонкодисперсного неорганического сорбента на водной основе с добавками ПАВ. Излишки шликера после пропитки удалялись. Процесс сушки проходил в естественных условиях в течение суток, после чего образцы подвергали термообработке при температуре 220 °С на протяжении одного часа. Таким образом, получали равномерное покрытие на поверхности пор. Материал исследовался на прочность по ГОСТ 27034-86.

**Результаты и обсуждения.** При проведении вспенивания было установлено, что весь процесс проходит в несколько стадий.

На первой стадии (650 – 800 °С) наблюдалось спекание смеси, что приводило к её объёмной усадке. На данной стадии частицы стекла оплавливают рассредоточенные в смеси частицы вспенивателя с образованием замкнутого пространства.

На второй стадии (810 – 890 °С) происходит разложение карбонатной вспенивающей добавки с выделением газообразного  $\text{CO}_2$ . За счёт того, что процесс при данной температуре сильно смещён в сторону выделения газообразного продукта реакции, давление углекислого газа становится выше атмосферного, а вместе с тем, что вязкость стекла постоянно понижается при повышении температуры – это приводит к образованию постоянно увеличивающихся со временем пор. На данной стадии наблюдается интенсивное увеличение объема материала.

Как видно из экспериментальных данных, приведенных на рис. 1, открытая пористость наблюдается в определённом интервале времени выдержки. Это объясняется разницей давлений в соседствующих порах, что приводит к прорыванию разделяющей их стенки и образованию соединительного канала.

Протекание же этого процесса во всём объёме материала приводит к образованию открытой пористости, а интенсивность протекания этого процесса – к преобладанию открытой пористости над закрытой.

На третьей стадии процесс протекает с увеличением объема пор и уменьшением доли открытых пор. Разность давлений (по закону сообщаю-

щихся сосудов) в соседних порах исчезает, а за счёт поверхностного натяжения расплавленного стекла стенки между порами затягиваются. Это ведёт к уменьшению доли закрытой пористости. Хотя, в целом, общая пористость материала продолжает увеличиваться.

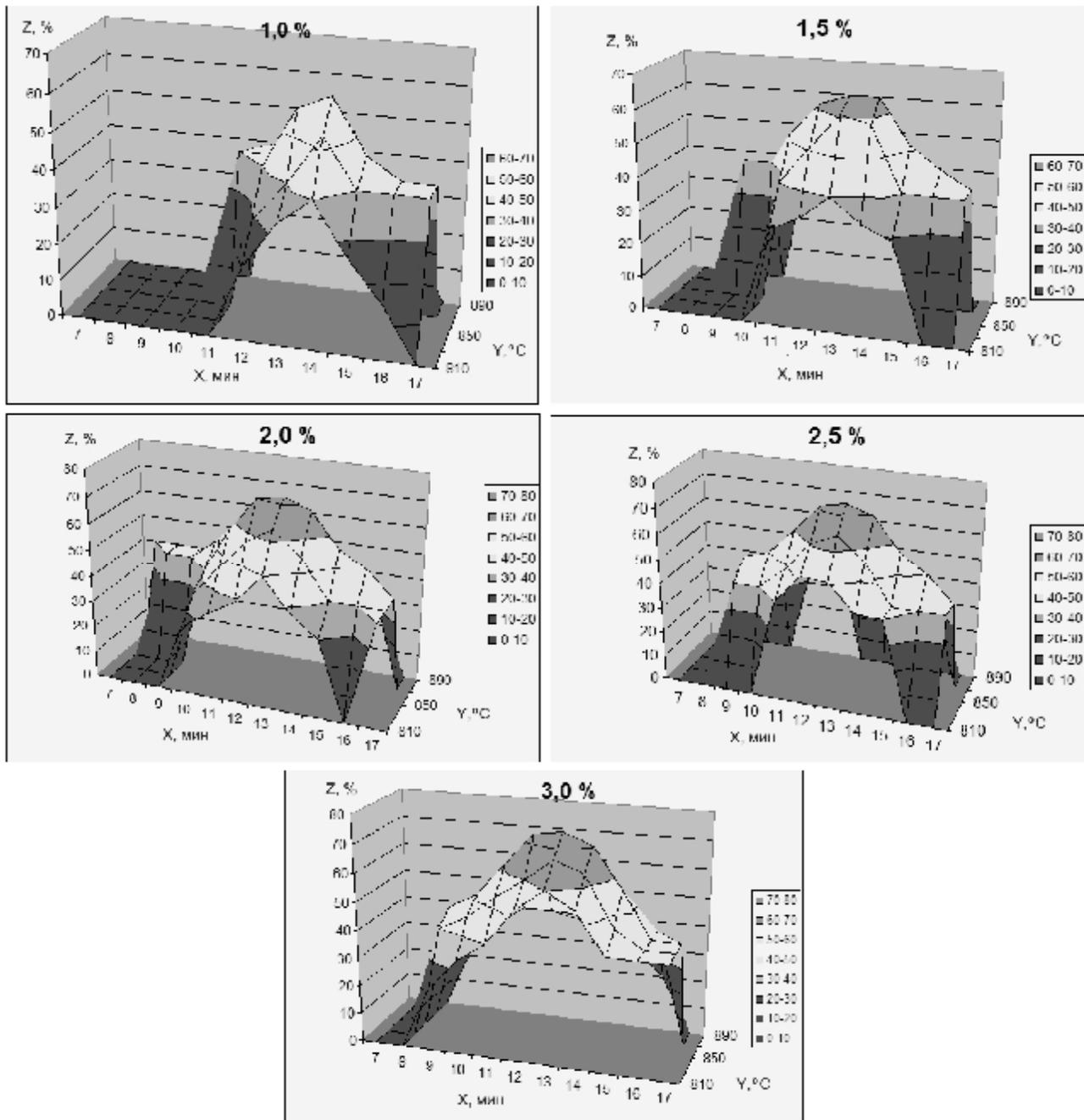


Рис. 1. Зависимость открытой пористости от времени выдержки и температуры при различных количествах вспенивателя, где:  
 ось X – время выдержки, мин;  
 ось Y – температура выдержки, °С; ось Z – открытая пористость, %

На четвёртой стадии (> 890 °С) происходит дальнейшее уменьшение

вязкости стекла, процесс замыкания пор завершается и происходит процесс удаления газовой фазы из материала, что в конечном итоге ведёт к омоноличиванию пеностекла с уменьшением объема.

По результатам анализа процесса вспенивания можно судить о наличии области оптимума (72 % открытой пористости) для длительности выдержки 13 мин. при температуре 850 °С и количестве вспенивающей добавки 2 %. Дальнейшее увеличение содержания вспенивающей добавки (> 2 %) не приводит к существенному увеличению открытой пористости материала (максимум было достигнуто 74 % открытых пор) при длительности выдержки 13 мин., температуре 850 °С и количестве вспенивателя 3 %. Дальнейшее увеличение содержания вспенивающей добавки не исследовалось, так как это является не рациональным по причине резко возрастающей кристаллизационной способности стекла в присутствии больших количеств СаО, что в свою очередь приводит к снижению витрифицирующих свойств пеностекла в последствии, а также к снижению его общей прочности.

Средний размер пор в полученном таким методом материале колеблется в пределах 0,6 – 1,2 мм, что обеспечивает хорошую проницаемость для жидкостей и газов. Структура пеностекла показана на рис. 2.

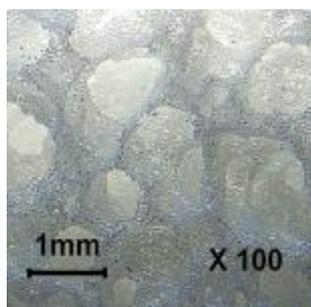


Рис. 2. Структура пеностекла при 100-кратном увеличении

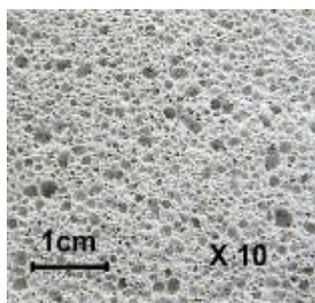


Рис. 3. Вид покрытого неорганическим адсорбентом пеностекла

Структура пеностекла показана на рис. 2.

В результате пропитки шликером на основе воды и тонкоизмельчённого неорганического сорбента было получено стабильное равномерное (толщиной 0,1 – 0,2 мм) ангобное покрытие на поверхности пор, что изображено на рис. 3.

**Выводы.** Установлено, что зависимость открытой пористости от времени выдержки и температуры имеет максимум, соответствующий 72 % и полученный при 850 °С с выдержкой 13 мин. для 2 % вспенивающей добавки. Оптимальное количество вспенивающей добавки составляет 2 %, что объясняется отсутствием существенного прироста в открытой пористости при последующем увеличении содержания вспенивателя. Средний размер пор полученного пеностекла находится в пределах 0,6 – 1,2 мм. Получено стабильное покрытие из неорганического сорбента толщиной 0,1 – 0,2 мм.

**Список литературы:** 1. Романков П. Г. Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой) / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов. – Ленинград: «Химия», Ленинградское отделение, 1990. – 384 с. 2. Франтишек Шилл. Пеностекло / Франтишек Шилл; [пер. с чешского Г. М. Матвеева]. – Москва: Изд-во литературы по строительству, 1965. – 307 с. 3. Беспалов А. В. Гидравлические свойства регулярных, нерегулярных структур и структур типа высокопористых ячеистых материалов (ВПЯМ) при малых скоростях фильтрации жидкости / [А.В. Беспалов, В.Н. Грунский, А.И. Козлов и др.] // Химическая промышленность сегодня. – 2005. – № 3. – С. 9 – 12. 4. Шаймарданов А. С. Гидродинамические процессы, протекающие в высокопроницаемых пористых ячеистых материалах / [А.С. Шаймарданов, Э.М. Кольцова, А.И. Козлов и др.] // Теоретические основы химической технологии. – 2007. – Т. 41, № 2. – С. 148 – 153. 5. Спиридонов Ю. А. Проблемы получения пеностекла / Ю. А. Спиридонов // Стекло и керамика. – 2003. – № 10. – С. 70 – 71. 6. Балугев А.В. Отходы переработки ядерных материалов и вещества матрицы для их иммобилизации (аналитический обзор) / [А.В. Балугев, Б.Я. Галкин, В.С. Митяхина, В.К. Исупов] // Радиохимия. – 2000. – Т. 42, № 4. – С. 295 – 307.

*Поступила в редколлегию 12.06.09*

УДК 693.546.5

**В.Я. БАБИЧЕНКО**, канд. техн. наук; **В.И. ДАНЕЛЮК**; **С.Р. МОЖИНА**,  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## **УПЛОТНЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОННЫХ И ДРУГИХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ВИДЕ ЭЛАСТИЧНЫХ МЕТАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Інтенсивне ущільнення жорстких дрібнозернистих бетонних та інших сумішей, так необхідне при виготовленні бетонних, залізобетонних та інших тонкостінних конструкцій в будь-яких виробничих умовах, досягається за рахунок їх укладання за допомогою нового технологічного обладнання у вигляді еластичних металевих пристроїв.

Intensive compression hard fine-grained concrete and other mixtures, so necessary at making of concrete, reinforce-concrete and other thin-walled constructions in any production terms, arrived at due to their piling by a new technological equipment as elastic missile devices.

Одной из важнейших характеристик мелкозернистого бетона и других строительных материалов является плотность их структуры, от которой в