

УДК 691.327.33

ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

¹Серова Р.Ф., ²Касумов А.Ш., ²Величко Е.Г.

¹Карагандинский государственный технический университет,
 Караганда, e-mail: roza_serova@mail.ru;

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
 Москва, e-mail: rusanov-1910@mail.ru

В статье рассмотрены существующие проблемы производства и применения ячеистых бетонов (газобетона, пенобетона и других) автоклавного и неавтоклавного твердения, их энергоэффективность, пористость, прочность, водопоглощение, морозостойкость, проведено сравнение с другими утеплителями и лёгкими бетонами. В статье показано, что ячеистые бетоны являются материалами нового поколения за счёт их низкой теплопроводности, достаточной огнестойкости, экологической безопасности, простоты технологии, невысокого уровня производственных затрат при получении. Результаты сравнительного анализа показали, что улучшение деформативных свойств пенобетона может быть достигнуто за счёт алюмосодержащих компонентов в виде метакволина с добавкой гипса или его модификаций с микрокремнеземом, суперпластификатором и гипсом, с условным наименованием группы модификаторов «Эмбэлит».

Ключевые слова: пенобетон, газобетон, энергоэффективность

PROBLEMS OF PRODUCTION AND APPLICATION OF CELLULAR CONCRETE

¹Serova R.F., ²Kasumov A.Sh., ²Velichko E.G.

¹Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: roza_serova@mail.ru;

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),
 Moscow, e-mail: rusanov-1910@mail.ru

In the article it is considered existing problems of production and application of cellular concretes (gas concrete, foam concrete and others) autoclave and non-autoclave hardening, their energy efficiency, porosity, strength, water absorption, frost resistance, it was carried out the comparison with other thermal insulation materials and light concretes. The article shows that cellular concrete is a new generation of materials due to their low conductivity of the heat-sufficient fire resistance, environmental safety, ease of technology, low level of production costs in the preparation. Results of comparative analysis showed that the improved deformation properties of cellular concrete can be achieved by expense of aluminum-containing components in form of metakaolin with the addition of gypsum or its modifications with silica fume, superplasticizer and gypsum. Conditional name of these group modifiers – «Embelit».

Keywords: foam concrete, gas concrete, energy efficiency

Большинство учёных и специалистов считают, что повышение энергоэффективности жилых зданий может быть достигнуто путём использования в ограждающих конструкциях, стеновых изделиях лёгких бетонов с необходимой теплозащитой [1, 2].

В настоящее время основными теплоизоляционными материалами являются минеральная вата, полимерные пенопласты. Но полимерные пенопласты имеют недостаточную долговечность. Керамзитовый наполнитель обладает насыпной плотностью более 500 кг/м³, а для получения эффективных стен, как известно, это значение не должно превышать 250...300 кг/м³. Использование вспученных перлита, вермикулита, диатомита в качестве наполнителей в цементных системах – эффективно, но применяется только в некоторых регионах.

Неавтоклавный пенобетон имеет хорошие теплофизические свойства, долговечность, простую технологию и невысокие производственные затраты. К существен-

ным недостаткам бетонов неавтоклавного твердения относятся высокие усадочные деформации, что снижает прочность и морозостойкость, повышает теплопроводность и водопоглощение. Следовательно, требуется решить проблему однородности структуры пенобетона.

Сейчас ячеистый бетон можно классифицировать по способу образования пор; по виду вяжущего вещества; по условиям твердения. По способу образования пор ячеистый бетон подразделяют на газо-, пено- и поробетон [2, 3]. В газобетоне поры создаются введением в смесь порообразующих веществ (алюминиевой пудры, алюминиевой пасты, пергидроли и т.п.). При производстве пенобетона предварительно приготавливают пену из пенообразователей (ПО-6, ПБ-2000, неопора и др.) и вводят в бетонную смесь. Для получения поробетона в специальный смеситель вводится кремнеземистый компонент, порообразователь и вяжущее вещество.

По виду вяжущего вещества различаются ячеистые бетоны на основе портландцемента или многокомпонентных цементов (газо- и пенобетоны), известково-кремнеземистых вяжущих веществ (газо- и пеносиликаты), шлаковых вяжущих веществ (газо- и пеношлакобетоны), гипсовых вяжущих веществ (газо- и пеногипсбетоны). По условиям твердения есть ячеистые бетоны автоклавного и неавтоклавного твердения.

Как известно, свойства ячеистых бетонов зависят от многих факторов: от структуры, способа образования пор и их размеров, вида вяжущих веществ и др. компонентов состава, условий твердения.

Пористость ячеистых бетонов характеризуется содержанием пор, их диаметрами и равномерностью распределения.

Макропоры с размерами $> 1 \cdot 10^{-3}$ м создаются в материале за счёт газообразования (в газобетоне), смешивания бетонной смеси с предварительно приготовленной пеной (в пенобетоне), воздухововлечения (в аэрированном бетоне) или при комбинировании технологий.

В высокопористых системах (с объёмом макропор $> 50\%$) значение пористости может быть $\geq 90\%$. Материал перегородок занимает в таких системах сравнительно небольшую долю. Поэтому, величина и характер распределения воздушных пор в объёме оказывают основное влияние на формирование комплекса свойств. Но технология (способ поризации) в большой степени характеризует технические и экономические показатели изделий [3].

Известно, что газобетон имеет как закрытые, так и открытые поры, а пенобетон – в основном закрытую пористость. Размеры отдельных пор у этих видов ячеистых бетонов схожи; средний размер пор составляет от $0,5 \dots 0,8 \cdot 10^{-3}$ до $2 \dots 2,2 \cdot 10^{-3}$ м.

Пористость такой системы определяет среднюю плотность ячеистого бетона в сухом состоянии. Поэтому она может находиться в достаточно широких пределах: конструктивные ($\rho_0 = 1000 \dots 1600$ кг/м³), конструктивно-теплоизоляционные ($\rho_0 = 600 \dots 800$ кг/м³) и теплоизоляционные ($\rho_0 = 150 \dots 500$ кг/м³) [3]. Поэтому можно считать, что средняя плотность и пористость зависят друг от друга и определяют прочность ячеистого бетона. Следовательно, уменьшение размеров пор, повышение однородности их распределения в системе, увеличение количества закрытых пор сферической формы приводят к повышению прочности ячеистых бетонов. Классы

прочности ячеистых бетонов при сжатии – от В0,5 до В15.

Водопоглощение ячеистых бетонов зависит от его средней плотности и вида вяжущего вещества. Для конструктивно-теплоизоляционных ячеистых бетонов оно составляет: для газобетона – 20...40%, газосиликата – 25...45% и газозолосиликата – 35...55%. С повышением влажности бетона прочность его снижается. При полном насыщении влагой она может составлять лишь 65% от прочности бетона в сухом состоянии, то есть и коэффициент размягчения равен 0,65.

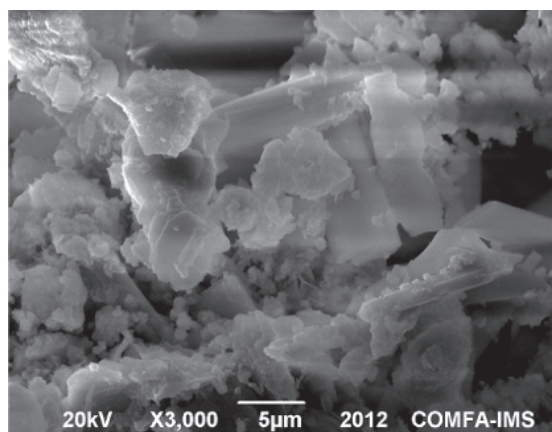
Морозостойкость материалов, как известно, зависит от содержания в них резервных пор. На их долю в ячеистых бетонах приходится около 10% общего объёма пор, не заполненных водой. Этого достаточно для расширения воды при ее переходе в лёд. Ячеистые бетоны характеризуются марками по морозостойкости от F15 до F75. Коэффициент теплопроводности ячеистых бетонов зависит в основном от средней плотности, влажности и равен $0,06 \dots 0,24$ Вт/(м·°С) [2, 3].

Свойства ячеистых бетонов характеризуются пористой структурой и мало зависят от способа ее образования. Поэтому для пено- и газобетонов одинаковой средней плотности они одинаковы. К существенным недостаткам ячеистых бетонов относятся прочность межпоровых перегородок как в процессе образования пор при приготовлении, так и после приобретения структурной прочности бетона.

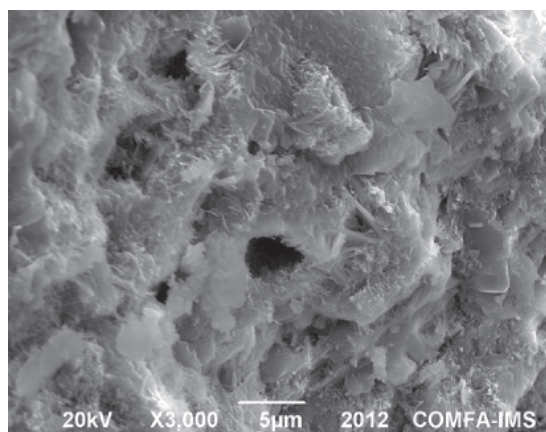
Для повышения прочности межпоровых перегородок используют суперпластификаторы и ультрадисперсные наполнители. К таким наполнителям относятся: микрокремнезём и метакаолин (метакаолинит) [1, 2, 3].

Были проведены исследования роли микрокремнезёма в повышении прочности и плотности структуры в возрасте 28 суток газобетона неавтоклавного и автоклавного твердения. Микроструктуру сколов таких газобетонов можно проанализировать по микрофотографиям, которые представлены на рисунке.

Практика доказала, что при заводском производстве крупных изделий газобетон имеет преимущества перед пенобетоном. Это позволяет использовать в автоклавных газобетонах местные вяжущие вещества (известь, шлаки, золы). Изготовление автоклавных газобетона, газосиликата и газошлакобетона в течение ряда лет было основным направлением развития производства ячеистых бетонов.



а



б

*Микроструктура автоклавного и неавтоклавного газобетона с микрокремнезёмом в возрасте 28 суток x 3000:
а – автоклавного твердения; б – неавтоклавного твердения*

В последние годы повысился интерес к неавтоклавному пенобетону как долговечному, экологически безопасному и дешевому строительному материалу. Он требует минимальных капиталовложений на организацию его производства. [2, 3, 4–6].

Ячеистые бетоны являются материалами нового поколения за счёт их низкой теплопроводности, достаточной огнестойкости, экологической безопасности, простоты технологии, невысокого уровня производственных затрат при получении. Это связано с тем, что применение новых поверхностно-активных добавок супервоздуховлекающего действия для формирования макропористой структуры создает условия для изготовления бетонов различной средней плотности на одном и том же оборудовании при использовании мелкозернистых смесей на природных песках. Возможность исключения из технологии поризованных бетонов тепловой обработки обеспечивает реальность их эффективного применения в монолитном строительстве. Кроме того, ячеистый бетон обладает паропроницаемостью и гигроскопичностью. Это ставит его (при отсутствии кондиционирования в домах) на второе место после дерева по санитарно-гигиеническим свойствам. Более того, сейчас разработаны технические решения одно-, двух- и трехслойных наружных стен как несущих или навесных, а также – несущих ограждающих конструкций с использованием пенобетона.

Однослойные стены применяются чаще всего в виде навесных панелей. В малоэтажных домах они могут быть самонесущими. Двухслойные навесные стены могут быть несущими, несущими и самонесущими.

Они выполняются из пенобетона марки по средней плотности D200...D250 с наружной скорлупой из фибро- или торкретбетона. С внутренней стороны ограждающая конструкция затирается или штукатурится цементно-песчаным раствором по стальной сетке. Трехслойные стены чаще всего несущие. На них опираются перекрытия. Они могут также быть и навесными ненесущими. Трехслойные панели являются многослойными конструкциями со средним теплоизоляционным слоем из лёгкого бетона низкой средней плотности. Наружные слои выполняются из конструкционных бетонов. За счёт высокой прочности сцепления ячеистых и тяжелых бетонов можно изготавливать многослойные конструкции с разной средней плотностью и прочностью.

Трехслойные несущие стены или панели могут иметь внутренний несущий слой из монолитного или сборного железобетона; конструкционного лёгкого бетона; из кирпичной кладки. Наружный защитный слой может выполняться из фибробетонных скорлуп; кирпичной кладки или др.

Теплоизоляционный слой в середине конструкции может изготавливаться из пенобетона марок по средней плотности D200...D250.

Повышение качества пенобетона может быть связано с применением пенообразователей большой кратности пены и высоким коэффициентом её использования. Существенную роль в данном процессе должно играть применение многокомпонентных модификаторов. Выбор индивидуальных составляющих при этой осуществляется таким образом, чтобы их применение обеспечивало продлённое действие с эффектом синергизма формирования

прочности, деформативных свойств, морозостойкости, коррозионной стойкости и других его свойств. Совершенно очевидно, что указанные показатели могут быть обеспечены при условии создания тонкодисперсной ячеистой структуры пенобетона. Поры в такой структуре должны иметь размеры от 0,1 до 0,5 мм. Важным обстоятельством также является получение плотной и высокопрочной матрицы перегородок. Этого можно добиться применением компонентов аморфизированного строения. Их можно получить, например, с помощью тонкодисперсного доменного гранулированного шлака с оптимальными параметрами, микрокремнезёма и других модификаторов, повышающих ее теплофизические свойства. Как установили авторы [7], тонкодисперсный доменный гранулированный шлак с оптимальной дисперсностью имеет удельную поверхность на 140...150 м²/кг больше, чем у портландцемента. С другой стороны, при использовании указанного шлака (в количестве 30...40%) в составе пенобетона будет происходить уменьшение объёма пустот между частицами многокомпонентной системы на 3...5%. Это повышает прочность на 25...40%. Происходит также снижение коэффициента теплопроводности матрицы на 13...15%. Основное распределение частиц тонкодисперсного шлака происходит в пустотах между частицами портландцемента [7].

Одним из главных факторов получения пенобетона высокого качества является применение эффективных пенообразователей и технологических приёмов. Они обеспечивают высокую устойчивость пены и пенобетонной смеси. Для получения устойчивой пены необходимо, чтобы плёнка была не только упругой, но и имела высокую поверхностную вязкость, уменьшающую скорость стекания плёнки на границу Плато [8]. Поэтому в пенобетоне целесообразно использовать стабилизаторы в виде высокодисперсных минеральных компонентов. Они препятствуют стеканию жидкости с поверхности плёнки [7, 8]. При этом дисперсность стабилизаторов пен минерального вида должна быть максимально высокой и придавать пене в пенобетонной смеси псевдотвёрдое состояние. При капиллярном потенциале, превышающем упругость плёнки, поверхность жидкости пузырька будет подниматься по капилляру. Это будет повышать упругость и устойчивость плёнки и препятствовать стеканию жидкости на границу Плато. Поэтому ультрадисперсный микрокремнезём с пустотностью 60...72% является эффективным стабилизатором пены в пенобетонной смеси. Кроме того,

взаимодействие микрокремнезёма с гидрооксидом кальция понижает рН жидкой фазы. Это значительно уменьшает возможность карбонизации и величину карбонизационной усадки пенобетона.

Стекание жидкости плёнки на границу Плато приводит к суммарному снижению прочности за счёт образования в пенобетоне микрообъёмов пониженной прочности с повышенным значением В/Ц. Такие микрообъёмы являются центрами разрушения. Известно, что практически все используемые виды пенообразователей замедляют твердение цементных систем и снижают их прочность.

Основными характеристиками пены, которые влияют на строительные свойства пенобетона, являются также кратность и коэффициент её использования (КИП). Для высококачественного пенобетона необходимо применять пенообразователи с максимально высокой кратностью. Максимальная кратность обеспечивает минимальное содержание пенообразователей в бетонной смеси. Следовательно, наиболее эффективным способом является двухстадийная технология приготовления пенобетона. В этом случае будет наблюдаться снижение содержания воды и пенообразователя в пенобетоне и улучшение его строительные-технические свойства.

Значение КИП при проектировании состава пенобетона рекомендуется принимать, равным 0,8 [9]. Однако его фактическое значение составляет 0,55...0,78. Низкие значения КИП приводят к высокому содержанию пенообразователя. Это сокращает сроки схватывания, твердения, снижает прочность пенобетона, а также ухудшает его деформативные свойства. Поэтому выбор эффективных пенообразователей, стабилизаторов пены, структурообразующих компонентов, существенно повышающих качество пенобетона, является существенной проблемой.

Улучшение деформативных свойств пенобетона может быть достигнуто за счёт алюмосодержащих компонентов в виде метакрилата с добавкой гипса или его модификаций с микрокремнезёмом, суперпластификатором и гипсом, с условным наименованием группы модификаторов «Эмбэлит». Эффект действия модификаторов этой группы основан на реакции образования этрингита, компенсирующего усадку, наблюдающуюся при гидратации минералов портландцементного клинкера.

Применение пенобетона в наружных стенах в этих решениях улучшает воздухообмен, влагомассоперенос и теплозащиту

стены, экологическую чистоту, что повышает комфортность жилища; пожаростойкость, надежность в эксплуатации здания в целом. Правда, улучшение воздухообмена и влагомассопереноса через стену, по мнению автора [1], приводит к потерям тепла.

Кроме того, теплоизоляцию из пенобетона можно эффективно использовать: при устройстве утепления кровли зданий, резервуаров различного назначения и др.; при утеплении кровли и наружных стен реконструируемых зданий [1].

Таким образом, масштабное строительство с применением пенобетона не получает должного развития из-за склонности к расслоению при формировании массивов и неустойчивости структур ячеистых смесей при колебаниях температуры и относительной влажности воздуха.

Список литературы

1. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
2. Величко Е.Г., Беякова Ж.С. Некоторые аспекты физикохимии и механики композитов многокомпонентных цементных систем // Строительные материалы. – 1997. – № 2. – С. 21–25.
3. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона (Госстрой СССР). – М.: Стройиздат, 1981. – С. 47.
4. Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства // Строительные материалы. – 2010. – № 6. – С. 34–37.
5. Соков В.Н., Бегларов А.Э., Жабин Д.В., Землянушнов Д.Ю. О возможностях создания эффективных теплоизоляционных материалов методом комплексного воздействия на активные подвижные массы гидротеплосиловым полем // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 9. – С. 17–19.

6. Сахаров Г.П., Стрельбицкий В.П., Воронин В.А. Ограждающие конструкции зданий и энергосбережение // Жилищное строительство. – 1999. – № 6. – С. 6–9.

7. Ткач Е.В., Ткач С.А., Серова Р.Ф., Сейдинова Г.А., Стасилович Е.А. Получение модифицированных газобетонных изделий на основе отходов промышленности и вторичного сырья // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–2; URL:<http://www.science-education.ru/article/view>.

8. Ткач Е.В., Семенов В.С., Ткач С.А. Повышение гидрофизических свойств газобетона с использованием отходов промышленности // Научное обозрение. – 2015. – № 14. – С. 194–196.

References

1. Adamson A. Fizicheskaja himija poverhnostej. M.: Mir, 1979. 568 p.
2. Velichko E.G., Beljakova Zh.S. Nekotorye aspekty fizikohimii i mehaniki kompozitov mno-gokomponentnyh cementnyh sistem // Stroitelnye materialy. 1997. no. 2. pp. 21–25.
3. Instrukcija po izgotovleniju izdelij iz jacheistogo betona (Gosstroj SSSR). M.: Strojiz-dat, 1981. pp. 47.
4. Oreshkin D.V. Oblegchjonnye i sverhlyogkie cementnye rastvory dlja stroitelstva // Stroi-telnye materialy. 2010. no. 6. pp. 34–37.
5. Sokov V.N., Begljarov A.Je., Zhabin D.V., Zemljanushnov D.Ju. O vozmozhnostjah sozdanija jef-fektivnyh teploizoljacionnyh materialov metodom kompleksnogo vozdejstvija na ak-tivnye podvizhnye massy gidroteplisilovym polem // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. 2012. no. 9. pp. 17–19.
6. Saharov G.P., Strelbickij V.P., Voronin V.A. Ograzhdajushhie konstrukcii zdaniy i jenergosberezenie // Zhilishhnoe stroitelstvo. 1999. no. 6. pp. 6–9.
7. Tkach E.V., Tkach S.A., Serova R.F., Sejdinova G.A., Stasilovich E.A. Poluchenie modifitsirovannyh gazobetonnyh izdelij na osnove othodov promyshlennosti i vtorichnogo syrja // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 1–2; URL:<http://www.science-education.ru/ru/article/view>.
8. Tkach E.V., Semenov V.S., Tkach S.A. Povyshenie gidrofizicheskikh svojstv gazobetona s ispolzovaniem othodov promyshlennosti // Nauchnoe obozrenie. 2015. no. 14. pp. 194–196.