



Редакция и редакционный совет поздравляют с **70-летием Бориса Семеновича Комиссаренко** – доктора технических наук, профессора Самарского архитектурно-строительного университета.

В 1959 г. Б.С. Комиссаренко окончил Куйбышевский инженерно-строительный институт и приступил к работе по специальности на заводе ЖБИ вначале мастером, а затем начальником цеха керамзитобетонных изделий. Заводской опыт стал надежной опорой молодому инженеру, когда в 1962 г. он перешел работать в Государственный научно-исследовательский институт по керамзиту НИИКерамзит, где проработал без малого четверть века руководителем группы, заведующим лабораторией керамзитобетона.

Б.С. Комиссаренко принимал непосредственное участие в разработке ряда нормативных и инструктивных документов, среди которых «Инструкция по технологии приготовления блоков из крупнопористого керамзитобетона», «Гравий и песок керамзитовые. Технические условия», «Заполнители пористые неорганические для бетона. Методы испытания».

С 1986 г. по настоящее время Б.С. Комиссаренко заведует кафедрой «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» Самарского государственного архитектурно-строительного университета. Он известен как один из ведущих ученых Российской Федерации в области технологии строительных материалов, изделий и конструкций на основе керамзита. Данное научное направление ориентировано на улучшение свойств керамзита, выпускаемого промышленностью, а также расширение его применения и разработку теоретических основ и технологии изготовления новых видов эффективных ограждающих конструкций на основе особо легкого керамзитового гравия. В ходе исследований по данному направлению был обоснован принципиально новый вид конструкционно-теплоизоляционного бетона – беспесчаный керамзитопенобетон. Способ защищен патентом и внедрен на 15 предприятиях страны.

Впервые автором был предложен новый вид прокладки тепловых сетей с лотками из керамзитобетона без применения подвесной теплоизоляции трубопроводов.

Научные работы Б.С. Комиссаренко имеют большое практическое значение. Он является автором более 200 научных публикаций. Созданная им научная школа входит в число ведущих научных школ России.

Б.С. Комиссаренко награжден орденом «Знак Почета», медалями «За доблестный труд», «Ветеран труда» и другими наградами.

Борис Семенович более сорока лет является автором журнала «Строительные материалы»®. Редакция, редакционный совет, коллеги и ученики сердечно поздравляют Бориса Семеновича Комиссаренко, желают ему доброго здоровья и дальнейших творческих успехов.

УДК 666.64–492.3

Б.С. КОМИССАРЕНКО, д-р техн. наук, А.Г. ЧИКНОВОРЬЯН, канд. техн. наук, Самарский государственный архитектурно-строительный университет;
В.М. ГОРИН, канд. техн. наук, генеральный директор, С.А. ТОКАРЕВА, директор, ЗАО «НИИКерамзит» (Самара)

Перспективы развития производства керамзита и конструкций на его основе

Стремительный рост строительства для реализации жилищной программы диктует повышенные требования к промышленности строительных материалов, развитию и модернизации строительного комплекса страны.

Мощная база керамзитовой промышленности явилась основой строительной индустрии, обеспечившей решение острой жилищной проблемы в 60–70-е гг. прошлого века. Керамзитобетон составлял до 80% всего объема производства легких бетонов для жилищного, гражданского и промышленного строительства в СССР. И в настоящее время керамзитобетон является одним из наиболее перспективных строительных материалов для решения задач быстрого возведения массового, доступного и комфортного жилья – долговечного, с высоким уровнем экологической и пожарной безопасности.

В настоящее время в стране работают с неполной загрузкой порядка 200 керамзитовых заводов, которые могут производить до 15 млн м³ керамзита в год.

Однако теплозащитные показатели керамзита и керамзитобетона зачастую неудовлетворительны. В первую очередь это связано с тем, что выпускаемый в России керамзитовый гравий имеет в основном насыпную плотность порядка 450–550 кг/м³. Целесообразна организация производства особо легкого керамзита с на-

сыпной плотностью порядка 200–350 кг/м³ для производства однослойных наружных стеновых панелей [1].

Производство особо легкого керамзитового гравия имеет ряд технологических особенностей.

Одним из основных условий, необходимых для вспучивания глинистого сырья при обжиге, является образование пиропластической массы с оптимальными параметрами вязкости в относительно широком интервале температуры нагрева и выделении из этой массы достаточного количества газообразных продуктов. Степень вспучивания зависит от комплекса факторов, включающих качественный состав исходного сырья, режимы термообработки и физико-химические процессы [2].

С целью исследования характера формирования макроструктуры и изменения фазового состава глинистых образцов при обжиге применялся комплексный метод исследований, включающий определение кажущейся вязкости пиропластической массы, фазового состава, величины открытой и закрытой пористости и коэффициента вспучивания, рентгенофазовый и электронно-микроскопический анализы. Обжиг образцов и определение термовязкостных характеристик глиен проводился в 40-метровой вращающейся печи.

Было установлено, что из сырья, характеризующегося высоким содержанием глинистой фракции (65–73%) и оксидов $Al_2O_3 + TiO_2$ (18–22%), путем варьирования органическими и железистыми составляющими в шихте можно изготовить особо легкий керамзит с насыпной плотностью около 200 кг/м^3 при обязательном соблюдении условий ведения термообработки по оптимальному температурно-временному режиму.

Анализ полученных результатов показал, что характер изменения вязкости нагреваемых глинистых образцов носит непрямолинейный характер, в определенных температурных интервалах наблюдается образование аномальных участков, например в интервалах 820–850 и 940–970°C. В температурном интервале 850–900°C наблюдается рост открытой и закрытой пористости. При температуре более 1100°C процесс порообразования происходит наиболее интенсивно с выделением при этом газообразных продуктов CO и CO_2 , а также пара остаточной конституционной воды, продолжается рост открытой пористости.

Большое влияние на качество керамзита оказывает режим его охлаждения. Изменение фазового состава образцов фиксировали рентгенофазовым и электронно-микроскопическим методами.

Согласно рентгенофазовому анализу основными кристаллическими новообразованиями в расплаве являются шпинель, гематит, муллит, кристобаллит. При этом прослеживается увеличение амплитуды пиков муллита и гематита при начальном замедленном охлаждении вспученных образцов.

Электронно-микроскопические исследования подтверждают и уточняют данные рентгенофазового анализа. При температуре более 1000°C кристаллизуется муллит, который армирует стеклофазу, способствуя тем самым ее упрочнению.

При снижении температуры до 900°C, когда вязкость пиропластической массы достигает значений $1\text{--}5 \cdot 10^9$ Пуаз, происходит стабилизация пористой структуры материала. Если размягченная поризованная масса характеризуется развитой системой открытых пор, то происходит интенсивное окисление двухвалентного железа с кристаллизацией гематита. Кристаллы гематита внедряются в стеклофазу и являются причиной ее расклевывания, снижают прочность стенок пор, и следовательно, гранул пористого заполнителя. Этот процесс протекает менее интенсивно в материале, обладающем малой открытой пористостью или уплотненным поверхностным слоем.

Установлено, что при замедленном начальном охлаждении количественное содержание гематита возрастает во всех без исключения случаях, но в разной степени.

Температура затвердевания стеклофазы является так называемой критической температурой охлаждения пористого заполнителя. Если от этой температуры его

подвергать быстрому охлаждению, то в стеклофазе развиваются внутренние напряжения, которые существенно снижают прочность гранул.

Дилатометрические определения свидетельствуют, что температура трансформации зависит от химико-минералогического состава глин. Очень важно установить критическую температуру материала, так как это позволяет устанавливать температурные границы начальной скорости охлаждения материала.

При проведении лабораторных исследований и выпуске опытных партий керамзитового гравия на Безмянском опытном керамзитовом заводе было установлено, что необходимый уровень переработки сырья должен характеризоваться коэффициентом вариации пластической прочности глиномассы не более 7–10%. Кроме того, требуется, чтобы керамзитовый гравий имел в основном округлую форму, что способствует повышению его прочности и однородности.

Наладка и регулировка перерабатывающего оборудования позволила получить гомогенную глиномассу с коэффициентом вариации пластической прочности после формования менее 10%, то есть тот уровень переработки, который обеспечивает наиболее равномерное истечение массы из формирующих решеток и дает возможность резать получаемые стержни на мерные цилиндрики.

Модернизация существующей на заводе технологической линии по выпуску особо легкого керамзитового гравия с насыпной плотностью менее $200\text{--}250 \text{ кг/м}^3$ позволила впервые в стране наладить его промышленный выпуск в объеме около 50 тыс. м^3 в год.

На основании выполненных исследований разработаны предложения по нормированию коэффициента теплопроводности не только на основании данных насыпной плотности, но и с учетом фазового состава керамзитового гравия. Внесение их в нормативные документы позволит более точно определять теплоизолирующие свойства керамзита и бетонов на его основе.

На следующем этапе исследований был предложен ряд принципиально новых однослойных ограждающих конструкций на основе беспесчаных керамзитопенобетонных смесей с улучшенными теплотехническими характеристиками.

В ходе работы были изучены основные физико-механические свойства, долговечность, закономерности формирования оптимальной структуры бетона, взаимосвязь между плотностью и прочностью. Разработаны рецептуры бетона, основные технологические параметры, особенности его изготовления в промышленных условиях.

Авторами был разработан способ введения пенообразователей типа ПО-К6, ПО-ЗНП, ПО-1, ПБ-2000 в керамзитобетонную смесь в процессе ее приготовления в виде концентрированного раствора, который



в 1996 г. защищен патентом РФ № 2059587 «Способ приготовления керамзитобетонной смеси».

Сущность технологии приготовления керамзитопенобетонной смеси состоит в том, что керамзит, цемент, воду предварительного перемешивают в смесителе в течение 2–3 минут, а затем в смеситель подают концентрат технического пенообразователя и перемешивают смесь до готовности, что обеспечивает эффективное вспенивание пенообразователя с образованием устойчивой пены.

При этом роль добавок заключается не столько в вовлечении воздуха в бетон, сколько в преобразовании неравномерно распределенных в бетоне крупных воздушных пор во множество мелких воздушных пузырьков сферической формы диаметром 50 мк и менее — сфероидов. Эти пузырьки, размещающиеся между зернами заполнителя, обволакиваются тонкими пленками цемента, обладающими высоким поверхностным натяжением.

Керамзитопенобетонная смесь с вовлеченным воздухом имеет студнеобразный вид, при этом обладает пониженным коэффициентом внутреннего трения и соответственно лучшей удобоукладываемостью и повышенной способностью противостоять расслаиваемости на различных технологических переделах. Помимо этого бетонная смесь с вовлеченным воздухом в меньшей степени оказывается подверженной водоотделению, так как воздушные пузырьки как бы закупоривают каналы, по которым циркулирует вода. При этом межзерновое пространство керамзита заполняется поризованным цементным тестом, состоящим из мелких замкнутых пор.

Полученный бетон имеет степень поризации до 30%, пониженную на 10–20% плотность и теплопроводность на 12% ниже, чем у плотного керамзитобетона. Что на основании традиционных теоретических предположек, следовало ожидать уменьшения прочности бетона примерно на 4–6% и на 1% увеличения воздухоовлечения. Однако керамзитопенобетон при равнозначных с обычным керамзитобетоном расходом цемента имеет и практически равную прочность.

При исследовании влияния состава керамзитобетона на процессы воздухоовлечения следует учитывать влияние расхода цемента, керамзитового гравия, воды и добавки. Выбор количества компонентов и их соотношения связан с заданной плотностью бетона, его прочностью и экономической целесообразностью. На практике при подборе состава бетона или при его приготовлении соотношение и суммарный расход главным образом твердых компонентов меняются в небольших пределах и не оказывают существенного влияния на процессы поризации.

Необходимо подчеркнуть, что тщательное смешение компонентов является одним из важнейших условий успешного осуществления любой бетонной технологии. Хорошее перемешивание цементных частиц с водой способствует более полному и быстрому их физико-химическому взаимодействию, а также равномерному обволакиванию зерен заполнителя тонким слоем цементного теста.

Керамзитобетон с воздухоовлекающими добавками в отличие от бетонов без этих добавок обладают более высокой водонепроницаемостью и морозостойкостью. Это подтверждается лабораторными и промышленными экспериментами.

При испытании на водонепроницаемость керамзитобетона марки М75 на керамзите из сырья Смышляевского месторождения при расходе цемента 250 кг/м³ образцы диаметром и высотой 150 мм выдержали давление 0,8 МПа. Морозостойкость подобных бетонов составляет более 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Таким образом, керамзитопенобетоны позволяют полностью отказаться от применения дорогостоящего керамзитового песка, резко снизить плотность и теплопроводность бетона, уменьшить водопотребность

и отпускную влажность изделий, улучшить связность и удобоукладываемость смеси, упростить технологию изготовления изделий за счет отказа от применения песка, снизить транспортные расходы и добиться ряда других преимуществ.

Первое промышленное внедрение керамзитопенобетона состоялось в 1992 г. в г. Сургуте Тюменской области. За прошедшее время Сургутским ДСК построены десятки зданий, которые успешно эксплуатируются в суровых условиях резкоконтинентального климата.

За последние годы технология изготовления керамзитопенобетонных однослойных стеновых наружных ограждающих конструкций была внедрена на 15 предприятиях, в частности на Тольяттинском заводе ЖБИ, Самарском заводе КЖИ-81, Астраханском заводе КПД и др.

В 2005 г. в 1245 УНР Филиал ФГУП «529 ВСУ» МО РФ (Самара) был организован выпуск однослойных керамзитобетонных панелей М75 толщиной 400 мм для 10-этажных 80-квартирных крупнопанельных жилых домов серии «Волга-В» (см. рисунок).

В качестве химических добавок для вспенивания керамзитопенобетонной смеси были использованы: пенообразователь для пенобетона ПО-ПБ-1к производства ФГУП «Новочеркасский завод синтетических продуктов» по ТУ 2481-001-53422540-2001; пенообразователь для пенобетона ПБ-2000 производства ОАО «Ивхимпром» по ТУ 2481-185-05744685-01. Для ускорения твердения керамзитопенобетона применена комплексная добавка для бетонов и растворов «Реламикс» производства ООО «Полиласт» по ТУ 5870-002-14153664-04.

Расход материалов на 1 м³ керамзитопенобетонной смеси подвижностью 3 см составлял, кг:

- состав № 1 — цемент ПЦ400Д20 — 320; керамзит дробленый — 530; вода — 130; ПБ-2000 — 0,15 (0,05%) + Реламикс — 1,6 (0,3%);
- состав № 2 — цемент ПЦ400Д20 — 340; керамзитовый гравий фракции 5–20 мм — 480; вода — 185; ПБ-1к — 4,1 (0,7%).

Продолжительность приготовления керамзитобетонной смеси в смесителе принудительного действия 5 мин.

Плотность и прочность керамзитопенобетона после пропаривания (по режиму 3+2+8+3 = 16 ч) составили для состава № 1 — 1210 кг/м³ и 10,6 МПа; № 2 — 1110 кг/м³ и 7,6 МПа.

Средняя плотность керамзитопенобетона высушенного до постоянной массы составила для состава № 1 — 830 кг/м³; № 2 — 960 кг/м³.

Дома, построенные из однослойных керамзитопенобетонных панелей, изготовленных на указанном предприятии, соответствуют нормативным санитарно-гигиеническим требованиям, условиям комфортности и требованиям энергосбережения.

Опыт внедрения данной технологии на ряде заводов ЖБИ позволил обосновать возможность приготовления керамзитопенобетонов с использованием стандартного оборудования практически без его переделки. Мелкий заполнитель полностью исключается из состава бетона. Применение керамзитопенобетона позволяет уменьшить толщину наружных стен до 40 см. Это делает их конкурентоспособными по сравнению со стенами из кирпича и многослойными ограждающими конструкциями, отличающихся значительной трудоемкостью.

Список литературы

1. Комиссаренко Б.С., Чикноворян А.Г. Керамзитобетон для эффективных ограждающих конструкций. Самара: СамГАСА. 2003.
2. Онацкий С.П. Производство керамзита. М.: Стройиздат. 1987.
3. Комиссаренко Б.С., Чикноворян А.Г. Керамзитопенобетон — эффективный материал для наружных ограждающих конструкций // Известия вузов. Строительство. 2000. № 4.