

РАЗДЕЛ 5. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 666.973.6

ПУТИ СНИЖЕНИЯ УСАДОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ТВЕРДЕНИИ И СЛУЖБЕ ГАЗОБЕТОНА

Е.В. Божок, А.В. Вольф, А.М. Маноха, В.К. Козлова

Рассмотрены причины повышенных усадочных деформаций при твердении и службе газобетона. Считается, что основным направлением повышения трещиностойкости газобетона является снижение величины усадочных деформаций, причиной которых является влажностная усадка материала и карбонизационная усадка. Однако в литературе отсутствуют результаты конкретного определения доли каждой слагающей усадочных деформаций. Выполненные исследования свойств газобетонов, различных составов, с использованием метода принудительной карбонизации, показывают, что основную долю в общих усадочных деформациях в процессе службы газобетона составляет карбонизационная усадка, которая значительно превышает величину влажностной усадки. В статье отмечается, что замена части песка высококальцевой золой в производстве автоклавного газобетона способствует повышению его прочности, приводит к некоторому снижению влажности и влажностной усадки. Эта тенденция сохраняется также при использовании высококальцевых зол совместно с добавкой доломита. Золевая и золенодоломитовая составляющая в составе газобетонной смеси приводят к повышению стойкости газобетона против углекислотной коррозии. При одинаковых условиях испытаний степень карбонизации газозобетона, которая составляет 54,1 %, значительно ниже, чем у газобетона - 73,4 %. Введение в состав газобетонной смеси добавки доломита позволяет снизить степень карбонизации до 42,4 %.

Ключевые слова: газобетон, карбонизация, коррозионная стойкость, усадка, высококальцевые золы бурых углей, доломит, деформации, долговечность.

Ячеистые бетоны представляют собой легкий пористый материал ячеистой структуры, в котором равномерно распределенные в объеме бетона макропоры отделены друг от друга тонкими и достаточно прочными перегородками. Благодаря ячеистой структуре такие бетоны имеют малую среднюю плотность и теплопроводность, позволяющие изготавливать из них высокоэффективные ограждающие конструкции.

Ячеистые бетоны производятся и применяются, начиная с начала XX века. Наибольшее распространение среди ячеистых бетонов получил автоклавный газобетон. Изделия из него при пониженной плотности имеют проектную прочность сразу после автоклавной обработки и характеризуются достаточно высокой долговечностью.

Многолетняя практика производства и применения газобетона показывает, что эксплуатационные характеристики материала зависят от технологических параметров производства, а улучшение основных свойств выпускаемых газобетонов тесно связано с оптимизацией основных технологических параметров с учетом характеристик используемого сырья, вида выпускаемой продукции и условий эксплуатации изделий.

Долговечность газобетонных конструкций в значительной степени определяется их трещиностойкостью. Трещины, зарождающиеся в процессе изготовления и эксплуатации газобетонных изделий, являются очагами разрушения бетона [1]. Основным направлением повышения трещиностойкости является снижение величины усадочных деформаций газобетона, причиной которых является влажностная усадка материала и карбонизационная усадка. Некоторые авторы ошибочно считают, что карбонизационная усадка менее опасна, чем усадка при высыхании [1]. На наш взгляд, особенностью развития усадочных деформаций является то, что усадочные деформации за счет потери влаги максимально выражены в начальный период службы и уменьшаются со временем, а доля карбонизационной усадки незначительна в ранний период, но постоянно увеличивается с увеличением продолжительности службы. В литературе отсутствуют результаты конкретного определения доли каждой слагающей усадочных деформаций. В стандартах ряда зарубежных стран регламентируется величина влажностной усадки газобетона, она не должна превышать 0,5 мм/м и практически соответствует предельной растяжимости газобетона. При таком соотношении указанных величин значительно

снижается возможность появления трещин за счет влажностной усадки, но сохраняется возможность развития деформаций за счет карбонизационной усадки. Известно, что карбонизационная усадка значительно увеличивается у бетонов, изготовленных с применением различных химических добавок [2].

Особенностью производства газобетона на основе портландцемента является недоиспользование химической энергии портландцементного камня, при этом наблюдается значительный перерасход цемента в расчете на единицу прочности бетона [3]. Значительное сокращение удельного расхода цемента может быть достигнуто при производстве газозобетона с использованием в качестве одного из сырьевых компонентов высококальциевых зол, получаемых при сжигании бурых углей Канско-Ачинского бассейна, обладающих самостоятельными вяжущими свойствами. Этому вопросу в последние десятилетия посвящен большой объем исследований в связи с тем, что указанные золы характеризуются большим разбросом химического и минерального состава, в том числе высоким содержанием свободного оксида кальция, обожженного при высоких температурах и способного привести к деструктивным явлениям при твердении материалов [4, 5]. В настоящее время эти золы находят всё более широкое применение в производстве газозобетона, как автоклавного, так и неавтоклавного. Получение бездефектных изделий из газозобетона возможно лишь при правильном подборе соотношения сырьевых компонентов, гранулометрического состава смеси, технологии подготовки ячеистой массы и режима твердения. Однако наличие в высококальциевой золе медленно гасящегося оксида кальция требует специальных технологических приемов, устраняющих влияние неравномерности изменения объема при твердении таких зол. В качестве одного из таких приемов может быть использование различных химических и минеральных добавок, а также предложенный авторами [6] способ устранения неравномерности изменения объема при твердении строительных материалов из высококальциевой золы, заключающийся в обработке углекислым газом свежеформованных изделий. Однако такая обработка является трудновыполнимой при производстве крупногабаритных изделий. Дальнейшими исследованиями было установлено, что обработку изделий углекислым газом можно заменить введением минеральных добавок в виде известняка или доломита в состав золосодержащих сырьевых сме-

сей. При достаточном количестве таких добавок не наблюдается деструктивных явлений при их гидратации и твердении. Необходимый эффект достигается при количестве вводимого доломита в два раза меньшем, чем при введении известняка.

Большой разброс содержания основных минералов в составе зол, в том числе свободного оксида кальция, и сопровождающие гидратацию высококальциевых зол деструктивные явления, делают маловероятным получение деструктивно безопасных газозобетон при использовании большого количества золы. При этом требуется тщательный контроль состава зол, применение различных способов их предварительной обработки и, в целом, осуществления постоянной корректировки состава сырьевых смесей с изменением количества золы, песка, извести, цемента [5]. Кроме того, при использовании большого количества золы с целью снижения деструктивных явлений авторами рекомендуется вводить добавку сульфата натрия. Кроме повышения стоимости, это может приводить к снижению стойкости получаемого материала к углекислотной коррозии и возрастанию усадки.

В производстве автоклавного газозобетона с использованием высококальциевых зол более целесообразна замена части песка золой, при этом возможно сокращение расхода извести и цемента [7].

Для изготовления конструктивно-теплоизоляционного газозобетона со средней плотностью 700 кг/м³ по автоклавной технологии использовались портландцемент ЦЕМ II 32,5Н Искитимского цементного завода, высококальциевые золы бурых углей ТЭЦ-3 г. Барнаула. Химический состав золы: CaO_{общ.} – 39,32 %; CaO_{своб.} – 4,50 %; SiO₂ – 27,93 %; Al₂O₃ – 10,04 %; Fe₂O₃ – 10,99 %; MgO – 2,95 %; SO₃ – 4,65 %; п.п.п. – 4,12 %. В качестве кремнеземистого компонента использовался кварцево-полевошпатовый песок Черемновского карьера с содержанием кварца 70-75 %. В качестве карбонатной добавки использовался доломит Таензинского месторождения. Газообразователь – алюминиевая пудра марки ПАН-1 по ГОСТ 5494-95 «Пудра алюминиевая. Технические условия».

С целью нейтрализации деструктивных свойств высококальциевой золы в производстве газозобетона осуществляется совместный мокрый помол золы и песка при приготовлении зольнопесчаного шлама. Совместный мокрый помол осуществлялся в лабораторной шаровой мельнице при водотвердом отношении равном 0,5. Удельная поверхность зольнопесчаного шлама составляла 2300-

3000 см²/г. Золянопесчаный шлам, изготовленный с использованием высококальциевой золы, содержащей до 6,0 % свободного оксида кальция, сохраняет жизнеспособность в течение трех суток без введения добавок-разжижителей. При увеличении СаО_{своб.} в золе до 8,0 % с целью предупреждения раннего схватывания шлама рекомендуется [7] введение добавки Na₂SO₄ в количестве 1,0 % от массы золы. Было отмечено, что при использовании золянодоломитовой смеси значительно замедляется загустевание шлама и не требуется введение химических добавок, в присутствии которых более активно протекает углекислотная коррозия цементного камня.

Автоклавная обработка изготовленных образцов осуществлялась при избыточном давлении пара 0,8 МПа по режиму 3-8-3 часа. Особый интерес представляет установленный дополнительными исследованиями факт значительного повышения прочности цементного камня при гидратации портландцемента с добавкой доломита в условиях тепло-влажностной обработки при повышенных давлениях и температурах.

Испытания образцов производились че-

рез 18-20 часов после запаривания без предварительной сушки. Определение влажности, прочности, морозостойкости выполнялось в соответствии с ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия» [8]. Для определения усадочных деформаций в процессе принудительной карбонизации изготавливались образцы-балочки 4x4x16 см. Карбонизация образцов осуществлялась углекислым газом при избыточном давлении 0,4 МПа в специальной установке. Количество связанного в процессе карбонизации углекислого газа рассчитывалось по величине падения давления в системе. В процессе карбонизации исключается возможность влажностной усадки, так как в объеме карбонизатора имеется вода и относительная влажность газа близка к 100 %. Состав и свойства газобетона и газозолобетона и изменения их свойств в процессе принудительной карбонизации приведены в таблицах 1 и 2. Влияние состава на величину карбонизационной усадки показано на рисунке 1. При испытании на морозостойкость потеря прочности образцов газозолобетона после 25 циклов составила 10,5 %, следовательно, газозолобетон имеет марку по морозостойкости F25.

Таблица 1 – Состав и свойства газобетона и газозолобетона

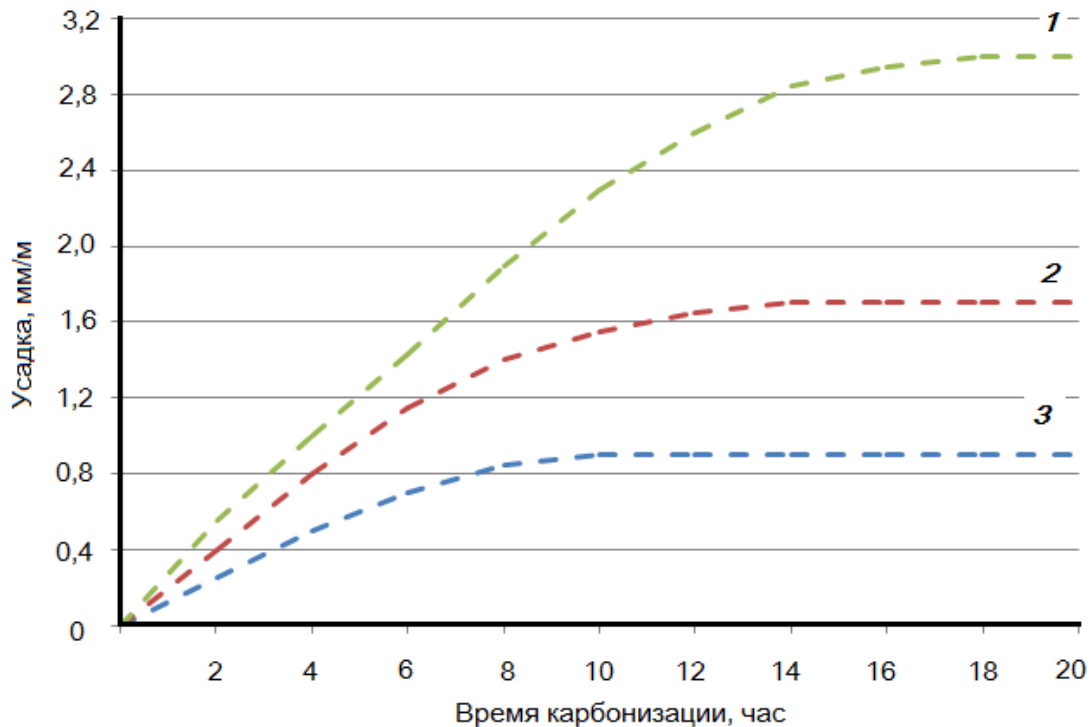
№	Состав, %					Алюминиевая пудра,	В/Т	Температура, °С	Влажность после автоклава, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Усадка при высыхании, мм/м
	Зола	Песок	Цемент	Известь	Полуводный гипс						
1	-	55	36	9	2,5 *	500	0,52	42	19,6	4,4	0,75
2	22	42	36	-	-	420	0,50	45	18,2	5,32	0,55
3	22**	42	36	-	-	420	0,50	45	17,8	5,68	0,43

* % от массы вяжущего;

** смесь золы с доломитом в соотношении 7:3

Таблица 2 – Изменение свойств газобетона и газозолобетона в процессе принудительной карбонизации

Вид материала	Время карбонизации, час.	Степень карбонизации, %	Предел прочности при сжатии, МПа
Газобетон	0	0	4,68
	4	18,2	-
	8	45,8	3,92
	12	67,2	-
	16	73,4	3,75
Газозолобетон на золянопесчаном шламе	0	0	5,42
	4	11,3	-
	8	23,8	5,51
	12	37,5	5,31
	16	54,1	5,15
Газозолобетон на золянопесчаном шламе с добавкой доломита	0	0	5,71
	4	8,5	-
	8	17,3	5,52
	12	31,2	-
	16	42,4	5,38



- 1 - Газобетон на основе песчаного шлама;
- 2 - Газозолобетон на основе зольнопесчаного шлама;
- 3 - Газозолобетон на основе зольнопесчаного шлама с добавкой доломита.

Рисунок 1 – Влияние состава на усадку газозолобетона плотностью 700 кг/м³ в процессе принудительной карбонизации

Из полученных данных видно, что замена части песка высококальциевой золой в производстве автоклавного газобетона способствует повышению его прочности, приводит к некоторому снижению влажности и влажностной усадки. Эта тенденция сохраняется также при использовании высококальциевых зол совместно с добавкой доломита. Зольная и зольнодоломитовая составляющая в составе газобетонной смеси приводят к повышению стойкости газобетона против углекислотной коррозии, в одинаковых условиях испытаний степень карбонизации газозолобетона значительно ниже, чем у газобетона. Особенно заметно положительное влияние зольной и зольнодоломитовой составляющей на величину карбонизационной усадки. Испытания показали, что карбонизационная усадка значительно превышает величину влажностной усадки. Суммарные усадочные деформации газобетона составляют 3,55 мм/м, газозолобетона – 2,45 мм/м, газозолобетона с добавкой доломита – 1,53 мм/м. В целом, общие усадочные деформации согласуются с данными авторов [9], отметивших, что усадка цементного камня, твердевшего на воздухе в течение 5

лет может достигать 3 мм/м, у газобетона она может быть выше. На основании приведенных данных можно считать, что основную долю в общих усадочных деформациях газобетона в процессе службы составляет карбонизационная усадка. С целью её снижения в состав сырьевой смеси полезно вводить карбонатсодержащие добавки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Явруян Х.С. Технологические приемы улучшения эксплуатационных показателей ячеистобетонных конструкций / Х.С. Явруян, С.М. Мадатян // Материалы международной научно-практической конференции «Строительство - 2007», г. Ростов-на-Дону, 2007. – с. 25.
2. Козлова В.К. Карбонизационная стойкость бетонов с химическими добавками / В.К. Козлова, А.В. Вольф, Д.С. Семин // Материалы международной научно-практической конференции «Строительство - 2007», г. Ростов-на-Дону, 2007. – с. 114.
3. Калашников В.И. Расчет состава высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы, 2008. - №10. – с.4-6.
4. Козлова В.К., Овчаренко Г.И., Ришес А.В.

Газобетон на основе высококальциевой золы Канско-Ачинских углей / В.К. Козлова, Г.И. Овчаренко, А.В. Ришес // Проблемы совершенствования архитектурно-градостроительного комплекса г. Барнаула. г. Барнаул, 1986. – с. 63-65.

5. Овчаренко Г.И. Газобетоны на основе высококальциевых зол ТЭЦ / Г.И. Овчаренко, Ю.В. Щукина, К.П. Черных. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – 233 с.

6. Козлова В.К. Карбонизация как способ устранения неравномерности изменения объема при твердении строительных материалов из высококальциевой золы / В.К. Козлова, В.М. Каракулов // Резервы производства строительных материалов. Межвуз. сборник под ред. В.К. Козловой. – Барнаул: Алтайский политехн. ин-т, 1984. – с. 30-34.

7. Вольф А.В. Влияние фазового состава цементирующей связки на свойства автоклавного газозобетона. Автореферат диссертации на соискание уч. степени к.т.н. – Томск, 2008. – 15 с.

8. ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия»

9. Кузнецова Т.В. Модифицированный портландцемент свойства и применение / Т. В. Кузнецова, Д. Я. Френкель, Ю. Р. Кривобородов // Популярное бетоноведение / Науч.-попул. журнал о бетонных технологиях в производстве и строительстве. - СПб. Строй-Бетон. - 2007. - N5. - С. 31-34.

Божок Е. В. - аспирант кафедры "Строительные материалы" АлтГТУ, тел. 8(3852) 29-09-82, e-mail: dmbozhok@gmail.com

Вольф А. В. - к.т.н., доцент кафедры "Технология и механизация строительства" АлтГТУ, тел. 8(3852) 29-09-78,

e-mail: volf.anna@mail.ru

Маноха А. М. - к.т.н., доцент кафедры "Химическая технология" АлтГТУ, тел. 8(3852) 24-57-63, e-mail: manoха_a@mail.ru

Козлова В. К. - д.т.н., профессор кафедры "Строительные материалы" АлтГТУ, тел. 8(3852) 29-09-82, e-mail: kozlova36@mail.ru.