

УДК 691.327.332

А.Д. Курзанов, А.О. Куршаков, Е.П. Анферов, С.В. Леонтьев

A.D. Kurzanov, A.O. Kurshakov, E.P. Anferov, S.V. Leont'ev

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

ТЕМПЕРАТУРА КАК ФАКТОР УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ГАЗОБЕТОНА

TEMPERATURE AS A FACTOR OF THE AERATED CONCRETE STRUCTURE FORMATION MANAGEMENT

Рассмотрены факторы, влияющие на согласованность процессов вспучивания массива и набора пластической прочности при производстве неавтоклавногазобетона. Отмечена важность такого фактора, как температура смеси. Систематизированы условия, определяющие температуру массива во время протекания процессов структурообразования. Предположено, что решение может быть найдено в теории зимнего бетонирования, когда изменение температуры смеси достигается за счет пропускания электрического тока через толщу бетона.

Ключевые слова: неавтоклавногазобетон, структурообразование, процесс вспучивания, процесс набора пластической прочности, факторы, температура, оптимальная макроструктура.

The factors influencing the consistency of the processes of the array expansion and a plastic strength set were considered in this article. It was noted that temperature is an important factor. Conditions that determine the array temperature during the structure formation were systematized. It was assumed that the solution could be found in the cold-weather concreting theory when the mixture temperature is increased by passing an electrical current through the thickness of the concrete.

Keywords: non-autoclaved aerated concrete, structure formation, expansion process, plastic strength set process, factors, temperature, optimal macrostructure.

Газобетон неавтоклавногазобетона (НГБ) относится к группе крупнопористых строительных материалов. Его структура представляет систему, состоящую из пор формы, близкой к сферической, и матрицы твердой фазы, являющейся капиллярно-пористым телом и идентифицируемой как межпоровое пространство [1].

Строение строительного материала, безусловно, оказывает влияние на его свойства. Что касается ячеистых бетонов пониженной плотности, то в данном случае при формировании их свойств на первый план выходит именно макроструктура материала.

Характер пористости (открытая или замкнутая), форма ячеек, распределение пор по размерам – все это оказывает влияние на качество газобетона, которое определяется такими параметрами, как прочность, теплопроводность, морозостойкость, паропроницаемость, долговечность и др.

Ячеистая структура газобетона формируется в процессе его производства, на стадии вспучивания растворной смеси. Вспучивание происходит за счет водорода, образующегося в результате взаимодействия алюминиевой пудры и гидроксида кальция (либо гидроксида натрия при использовании каустической соды). При этом немаловажное значение имеет последующая фиксация образованной структуры, заключающаяся в потере подвижности растворной составляющей и образовании устойчивых структурных связей. Стоит обратить внимание на то, что в данном случае речь идет о макроструктуре материала; микроструктура, т.е. строение капиллярно-пористой межпоровой перегородки, в данной работе не рассматривается.

Говоря об оптимальной пористости, следует различать необходимые и достаточные условия ее получения. Необходимым условием является обеспечение заданной средней плотности образцов. Достаточное условие оптимальности макроструктуры газобетона определенной марки по средней плотности соблюдается в случае, если замкнутые сферические воздушные поры равномерно распределены во всем объеме газобетонного массива, при этом размер отдельных ячеек находится в диапазоне 0,5–2 мм [2].

В данной работе рассматривается необходимое условие, выполнение которого однозначным образом определяется при подъеме растворной смеси до необходимой высоты, что и является целевой функцией оптимизации макроструктуры в данной работе.

Создание оптимальной макроструктуры НГБ существенным образом зависит от согласованности протекания процесса вспучивания смеси за счет газообразования и процесса набора пластической прочности. Другими словами, при окончании процесса активного газовыделения реологические свойства растворной составляющей (вязкость, предельное напряжение сдвига) должны достигать оптимальных значений, при которых становятся невозможными пространственные изменения образованной структуры.

При несоблюдении указанной синхронности качество создаваемой структуры будет снижаться, при этом возможно образование брака – продукции неудовлетворительного качества.

Синхронизации процессов газообразования и набора пластической прочности в технологии газобетонов уделяется пристальное внимание. Множество исследовательских работ [3–5] посвящено изучению влияющих на протекание этих процессов рецептурно-технологических факторов, которые можно разделить на три группы (рис. 1). Как видно из приведенной класси-

фикации, большинство факторов влияют на оба процесса, в то время как на процессы по отдельности оказывают влияние исключительно рецептурные факторы. Кроме того, указанные факторы можно классифицировать с точки зрения момента времени определения их численных значений.

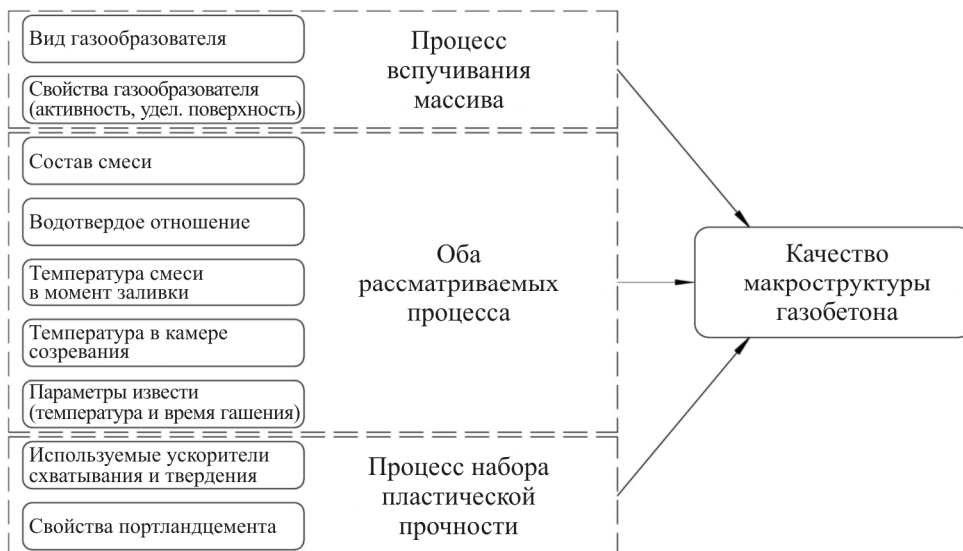


Рис. 1. Факторы, влияющие на процессы вспучивания и набор пластической прочности

В современной технологии газобетонов за счет тщательного подбора состава смеси на основе данных об исходных компонентах и регулирования заливочной температуры смеси опытные технологи научились управлять протекающими при поризации процессами. Однако этого в некоторых случаях оказывается недостаточно, например в условиях сильного колебания качества сырья от замеса к замесу.

Влияние других технологических факторов (температуры окружающей среды и внешнего давления газовой фазы) изучалось только на экспериментальном уровне [6, 7], однако практического применения полученные результаты на сегодняшний день не нашли. В свою очередь, именно эти факторы заслуживают пристального внимания, поскольку допускают изменение непосредственно во время структурообразования.

Особый интерес по ряду причин представляет температура окружающей среды, т.е. в камере тепловой выдержки, поскольку предполагается, что возможно управлять процессом структурообразования материала путем ее изменения. Данная гипотеза основывается на зависимости динамики протекания процессов вспучивания и упрочнения от температуры массива, которая по

понятным причинам зависит от температуры в камере. Однако в настоящее время вопросы влияния температуры на все аспекты процесса макроструктурообразования остаются недостаточно изученными, а приведенные данные оказываются зачастую противоречивыми.

Так, в работе [8] исследовалось влияние фактора температуры на процессы структурообразования: теоретически доказано влияние температуры смеси на скорость газовыделения и, как следствие, скорость вспучивания смеси, экспериментально доказано влияние состава на эти процессы. Установлено, что применение высокоэкзотермической извести в качестве вяжущего ведет к наибольшему разогреву смеси и минимальному времени вспучивания. Отмечено также, что при правильном подборе исходной температуры смеси можно добиться получения оптимальной структуры.

При изучении влияния температуры смеси на согласованность процессов вспучивания и набор пластической прочности [9] установлено, что при температуре ниже 40 °С набор пластической прочности существенно опережает газообразование. С другой стороны, при чрезмерном увеличении температуры наблюдается «закипание» массива, являющееся следствием интенсивного газообразования при недостаточной газодерживающей способности.

Это подтверждается и другой серией опытов [7]. В данном исследовании установлено влияние температуры воды на температуру разогрева смеси и свойства готового газобетона. Получена следующая зависимость: увеличение температуры воды влечет за собой увеличение максимальной температуры разогрева смеси, при этом ее рост до 81–85 °С положительно сказывается на прочности готового продукта, при дальнейшем увеличении до значений 95–100 °С прочность падает. Это связано с нарушением согласованности протекания процессов вспучивания смеси и набора пластической прочности. Кроме того, при температурах, близких к 100 °С, образующийся пар создает дополнительное избыточное давление, приводящее к образованию трещин в межпоровом пространстве.

Кроме того, в этой работе установлена прямо пропорциональная зависимость коэффициента использования газообразователя от температуры массива, что оказывает влияние на экономику производства.

Таким образом, исследования однозначным образом подтверждают зависимость протекания процессов структурообразования и свойств готового материала от температуры массива. При этом исследователи предлагают регулировать максимальную температуру разогрева массива либо за счет изменения температуры воды затворения, либо за счет корректировки исходного состава смеси.

Температура растворной смеси в момент выгрузки из газобетоносмесителя зависит от температуры компонентов, а также от температуры воды, которая составляет в среднем 45–60 °С. Подогретую воду используют для по-

лучения смеси с температурой, отличной от температуры цеха в большую сторону. Для снижения тепловых потерь смеси рекомендуется использовать подогретые до 40 °С металлические формы. После выгрузки растворной смеси из бетоносмесителя в форму последняя отправляется в камеру созревания, где поддерживается определенный температурный режим (рис. 2).

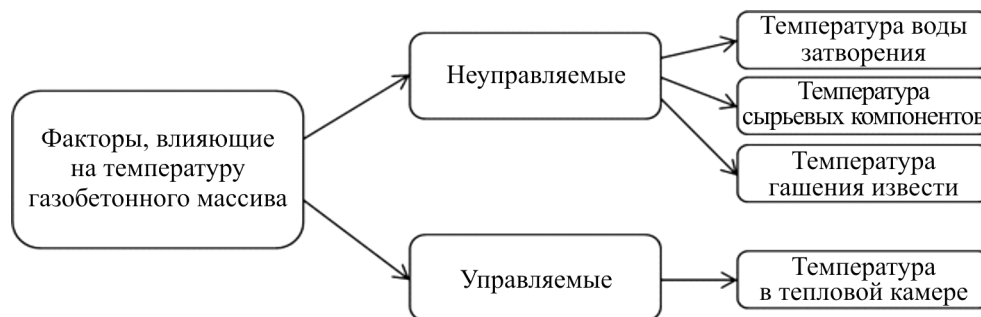


Рис. 2. Факторы, определяющие температуру разогрева газобетонной смеси

В дальнейшем температура смеси возрастает главным образом за счет выделяющегося при гашении извести тепла. Как отмечалось выше, с целью увеличения щелочности раствора для обеспечения необходимых условий протекания реакции газовыделения в технологии НГБ применяют негашеную известь. При гашении извести выделяется определенное количество тепла, зависящее от ее активности (содержания активных $\text{CaO} + \text{MgO}$). Выделяющееся тепло способствует дополнительному разогреву формовочной смеси. При использовании каустической соды разогрев смеси за счет внутренних реакций несущественен.

Выпускаемая воздушная известь характеризуется достаточно большим различием значений нормируемых параметров (температура и время гашения), что определяется различием в применяемом сырье, а также неустойчивостью технологического процесса при ее производстве [10].

Таким образом, динамика разогрева, а также максимальная температура смеси находятся в зависимости от применяемого сырья.

Помимо этого, между смесью и окружающей средой протекают процессы теплообмена либо через верхнюю поверхность смеси, либо через борта и поддон формы. При этом в зависимости от разницы между температурой граничных слоев смеси и температурой воздуха в камере скорость теплообмена также различна.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод о том, что на температуру массива при вспучивании влияют несколько факторов. Все их можно разделить на две группы: неуправляемые факторы, значения которых известны, но не подлежат изменению, и управляемые.

Особого внимания заслуживает фактор температуры окружающей среды как элемент, которым можно управлять в процессе вспучивания и упрочнения массива. Во-первых, изменение температуры в камере возможно в широком диапазоне за относительно небольшой период времени. Во-вторых, при выборе именно этого фактора как способа управления процессами структурообразования НГБ не требуется внедрения какого-то сложного оборудования. Существенным недостатком является высокая инертность нагрева газобетонного массива, обладающего высокой теплоемкостью. Становится практически невозможным быстрый нагрев смеси даже на несколько градусов.

Решение проблемы оперативного изменения температуры массива следует искать в теории зимнего бетонирования. Известно [11], что при пропускании переменного электрического тока сквозь бетон в его толще выделяется определенное количество тепла. Проводящим электрический ток элементом является жидкая фаза с растворенными в ней минералами портландцемента. При этом определяющим параметром бетонной смеси и бетона является удельное электрическое сопротивление. Тепловая энергия, образуемая из электрической энергии, достаточно равномерно распределяется во всем объеме массива, повышая ее температуру, особенно при использовании пластинчатых электродов [12].

Предполагается, что имеющиеся по электропрогреву тяжелых бетонов и растворов знания можно спроецировать на ячеистобетонную смесь. Регулируя параметры (силу тока, напряжение, продолжительность), возможно в нужном режиме обеспечивать изменение (повышение) температуры массива.

Немаловажным фактором при формировании оптимальной макропористости газобетона является неравномерность изменения температуры в различных точках массива [9]. Причем в разных условиях максимальная температура разогрева может быть как в центре, так и по краям смеси. Следовательно, скорость протекания процессов структурообразования также различна. В конечном итоге это ведет к неравномерности ячеистой структуры в толще массива, увеличению значений внутренних напряжений в растворной составляющей газобетонной смеси, появлению большого количества дефектов, что напрямую скажется на конечных свойствах материала. Использование электродного прогрева позволит устранить эту проблему, поскольку применение пластинчатых электродов создает достаточно равномерное температурное поле во всем объеме смеси. Изменение же температуры в камере в соответствии с текущей температурой массива будет этому способствовать.

Таким образом, становится очевидным важность контроля и своевременного изменения температуры массива, а также температуры в камере созревания. Управление температурой позволит повысить качество выпускаемых изделий за счет формирования оптимальной макроструктуры материала, а также снизить количество выпускаемого брака.

Список литературы

1. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика / Н.П. Сажнев, Н.Н. Сажнев, Н.Н. Сажнева, Н.М. Голубев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Минск: Стринко, 2010. – 464 с.
2. Анализ процесса производства изделий из неавтоклавного газобетона / В.А. Шаманов, А.Д. Курзанов, С.В. Леонтьев, Е.П. Анферов // The Scientific Heritage. – 2016. – Vol. 3, № 7. – С. 97–101.
3. Резанов А.А., Бедарев А.А. Вопросы управления процессом порообразования в технологии газосиликата // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 10. – С. 21–28.
4. Получение газобетона способом баротермального вспучивания / Ю.П. Горлов, Ю.Л. Спирин, А.И. Шумков, Р.А. Чучаев // Строительные материалы. – 1970. – № 9. – С. 23.
5. Бич П.М. Вспучивание газобетона под давлением // Строительные материалы. – 1970. – № 2. – С. 39.
6. Резанов А.А. Внешнее давление газовой среды как дополнительный технологический фактор оптимизации процесса порообразования при производстве ячеистых силикатных бетонов // Вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2011. – № 3. – С. 68–78.
7. Лаукайтис А.А. Влияние температуры воды на разогрев формовочной смеси и свойства ячеистого бетона // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 37–39.
8. Воробьев Х.С., Гофман Г.М. Регулирование скорости вспучивания и размеров газовых пор при производстве изделий из ячеистого бетона // Строительные материалы. – 1980. – № 3. – С. 20–21.
9. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Регулирование свойств газобетонной смеси и бетона с помощью введения различных добавок // Проблемы инновационного биосферно совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 8 ноября 2010 г. – Брянск, 2010. – С. 258–264.
10. Монастырев А.В. Производство извести. – М.: Высш. шк., 1986. – 192 с.
11. Садович М.А. Методы зимнего бетонирования в условиях Севера: учеб. пособие / Братск. гос. ун-т. – Братск, 2009. – 104 с.
12. Крылов Б.А., Амбарцумяна С.А., Звездова А.И. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях. – М., 2005. – 275 с.

Получено 03.02.2017

Курзанов Александр Дмитриевич – аспирант, ассистент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kurzanov_sm_st@mail.ru.

Куршаков Антон Олегович – магистрант кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Kurshakov93@mail.ru.

Анферов Егор Павлович – студент, кафедра «Строительный инжиниринг и материаловедение», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anferovegor@gmail.com.

Леонтьев Степан Васильевич – старший преподаватель кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: n1306cl@yandex.ru.