

Таблиця 5

Фізико-механічні показники цементно-піщаних розчинів (1:3) на основі композицій з шлаком фр. 100 мкм

| Витрата компонентів композицій, % | | В/Ц | Середня густина розчину, кг/м ³ | Міцність розчину у віці 28 діб, МПа | | Марка розчину за міцністю на стиск |
|-----------------------------------|------|------|--|-------------------------------------|----------|------------------------------------|
| цемент | шлак | | | на розтяг при згині | на стиск | |
| 100 | 0 | 0,40 | 2250 | 6,1 | 39,5 | M400 |
| 90 | 10 | 0,39 | 2210 | 5,82 | 35,3 | M300 |
| 80 | 20 | 0,39 | 2190 | 4,68 | 29,8 | M300 |
| 70 | 30 | 0,39 | 2180 | 4,62 | 27,3 | M250 |
| 60 | 40 | 0,39 | 2170 | 4,47 | 26,5 | M250 |
| 50 | 50 | 0,38 | 2160 | 4,1 | 24,9 | M250 |
| 40 | 60 | 0,38 | 2140 | 3,82 | 23,1 | M200 |
| 30 | 70 | 0,38 | 2120 | 2,91 | 19,1 | M150 |
| 20 | 80 | 0,37 | 2110 | 2,58 | 17,3 | M150 |
| 10 | 90 | 0,36 | 2100 | 2,2 | 11,1 | M100 |
| 0 | 100 | 0,36 | 2085 | 2,08 | 8,7 | M75 |

ше; при 60 % шлаку різниця між показниками міцності на стиск композицій становить 49 %.

Згідно ДСТУ Б В.2.7-124-204 [8] в будівельних розчинах можливо використовувати цементи, що характеризуються міцністю на стиск 200 МПа (ЦБР 200), 300 МПа (ЦБР 300) і 350 МПа (ЦБР 350). Отже, отримані позитивні результати по використанню шлаку в цементно-шлакових композиціях, що містять 10–30 % шлаку фр. 50 мкм або 10–60 % шлаку фр. 100 мкм, обумовлюють перспективу їх застосування в будівельних розчинах.

Висновки:

1. Мелені шлаки Алчевського металургійного заводу є гідравлічно активними, про що свідчить отримана марка розчину за міцністю на стиск M75 при вмісті шлаку 100 %.

2. Позитивні результати по використанню шлаку в

цементно-шлакових композиціях, що містять 10–30 % шлаку фр. 50 мкм або 10–60 % шлаку фр. 100 мкм, обумовлюють перспективу їх застосування в будівельних розчинах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Яцук Л.В. Технология использования золы-уноса в конструкционно-теплоизоляционных бетонах / Яцук Л.В., Грицай Л.И. // Журнал «Строительные материалы». – 2001. – №3. – С.21–22.

2. Дворкин Л.И. Свойства золосодержащих растворов из сухих смесей / Дворкин Л.И., Гарницкий Ю.В., Риженко И.Н. // Збірник «Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка». – К.: НДІБМВ, 2007. – Вип. 26. – С.24–29.

3. Братчун В.И. Конструктивные свойства золошлакобетонов / Братчун В.И., Попов С.В. // Современные проблемы строительства – Донецк: Донецкий промышленный проект, 2003. – Т.1. – С.110–112

4. Штарк Йохан. Цемент и известь / Штарк Йохан, Вихт Бернд; пер. с нем. А. Тулаганова; под ред. П.В.Кривенка. – Киев, 2008. – 480 с.

5. ДСТУ Б В.2.7-46-96 Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.

6. ДСТУ Б В.2.7-185:2009 Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму.

7. ДСТУ Б В.2.7-187:2009 Цементи. Методи визначення міцності на згин і стиск.

8. ДСТУ Б В.2.7-124-204 Цементи для будівельних розчинів. Технічні умови.

УДК 666.973.6

Рудченко Д.Г., Генеральный директор, ООО "АЭРОК", г. Обухов, Киевская обл.

О ПОВЫШЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА КОНСТРУКТИВНОГО КАЧЕСТВА ГАЗОБЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Введение. На сегодня во все странах СНГ, за исключением Белоруссии, существует важная проблема увеличения в несколько раз производства конструктивно-теплоизоляционного ячеистого бетона для увеличения объемов строительства жилья.

История развития технологии производства и использования ячеистых бетонов неразрывно связана с совершенствованием технологии производства с целью повышения их прочности при одновременном снижении плотности. Многочисленные работы [1, 2] посвящены исследованию кварцевого и малокварцевого сырья природного и техногенного происхождения и химических добавок.

В связи с повышенным вниманием к ячеистому бетону, как основному конструктивно-теплоизоляционному материалу, объемы производства которого стремительно растут в Украине и других странах мира возникает необходимость повышения коэффициента его конструктивного качества. В связи с повышением термического сопротивления ограждающих конструкций с 0,65–1 до 2,8 м² · °С/Вт однослойная стена может быть построена из эффективных керамических блоков или из ячеистого бетона.

Цель работы. Исследование влияния добавки двуводного гипсового камня на свойства газобетона для

повышения коэффициента конструктивного качества ячеистого бетона.

Результаты исследований. Коэффициент конструктивного качества (удельная прочность) материала представляет собой отношение прочности (в МПа) к плотности. Лучшие конструктивные материалы имеют высокую прочность при малой плотности, что способствует созданию легких конструкций. У сплавов из алюминия коэффициент конструктивного качества превышает 250, стеклопластиков – больше 200. Коэффициент конструктивного качества для материалов зернистой структуры определяется по формуле [3].

$$K = R_{сж} / d,$$

где: $R_{сж}$ – прочность при сжатии, МПа, d – плотность материала.

Для определения коэффициента конструктивного качества материалов ячеистой структуры используют другую формулу [4]

$$K = R_{сж} / d^2,$$

где: $R_{сж}$ – прочность при сжатии, МПа, d – плотность материала.

Если показатель прочности при сжатии прямо пропорционально влияет на коэффициент конструктивного качества газобетона, то величина показателя плотности газобетона – обратно пропорциональна во второй степени. Таким образом, увеличивая прочность газобетона на сжатие и уменьшая его плотность можно улучшить показатель коэффициента конструктивного качества газобетона.

Нами предложено использовать добавку двуводного гипса при помоле кремнеземистого компонента [5]. Добавка внедрена в промышленную технологию производства ячеистого бетона автоклавного твердения плотностью 300 кг/м³ на ООО «АЭРОК».

Для увеличения прочности автоклавного газобетона определяющим технологическим фактором может быть повышение давления пара в автоклаве с 8–10 до 12–16 МПа [1]. Но это является дорогостоящим технологическим приемом, который связан с повышенной опасностью и дополнительными материальными и энергетическими затратами. Не маловажную роль в повышении коэффициента конструктивного качества газобетона отводится кремнеземистому компоненту, химическим и минеральным добавкам.

Именно заполнитель, как правило, в бетоне обеспечивает необходимые физико-механические и эксплуатационные свойства бетонных изделий. Согласно [6] заполнители для легких бетонов классифицируются по следующим признакам: по размерам зерен; по форме зерен; по насыпной плотности; по структуре зерен; за происхождением и методами получения; по назначению. Если в обычных бетонах разделение заполнителей на инертные и реакционноспособные есть условным то в бетонах автоклавного твердения кварцевый заполнитель выполняет двойную функцию. С одной стороны молотый кварцевый песок является заполнителем, структурообразующим компонентом, с другой - это компонент вяжущего. В условиях повышенной температуры и давления насыщенного водяного пара кварцевый песок реагирует с минеральным вяжущим (цемент, известь).

Как известно, прочность обычного цементного бетона обусловлена на 40% прочностью микро- и макроструктуры, на 40% – адгезионным взаимодействием растворной составляющей с крупным заполнителем и на 20% – механическим сцеплением цементного клея с неровностями поверхности заполнителя. Прочность силикатных бетонов гидротермального твердения во многом предопределяется дисперсностью, видом кварцевого компонента и фазовым содержанием новообразований и их прочностью.

Согласно полученным данным [7] микротвердость цементирующего вещества силикатного бетона в объеме изначально ниже (28–133 кг/мм²), чем в контактном слое с заполнителем (128–618 кг/мм²). Это объясняется тем, что фазовый состав контактного слоя цементирующих веществ представлен преимущественно низкоосновными гидросиликатами кальция, а фазовый состав объема цементирующих веществ – высокоосновными. Контактный слой заполнителя состоит из двух зон. Одна зона непосредственно соприкасается с заполнителем, другая – с цементирующим веществом. Ширина контактного слоя заполнителя колеблется от 23 до 94 мкм в зависимости от технологических факторов производства. С повышением температуры гидротермальной обработки микротвердость цементирующих веществ и ширина контактного слоя заполнителя увеличиваются. Вполне логично, что увеличение водовяжущего отношения приводит к снижению микротвердости цементирующих веществ контактного слоя.

В газобетоне автоклавного твердения прочность бетона зависит не только от механической прочности материала самой межпоровой перегородки газобетона но и от правильности геометрических размеров пор. В современных условиях на небольших производствах газобетонов и особенно пенобетонов межпоровые перегородки армируются микрофиброй.

В процессе гидротермальной обработки силикатных материалов на поверхности исходных продуктов смеси сосредотачиваются низкоосновные гидросиликаты кальция типа CSH (I), тоберморита и ксонотлита, а в объеме заключенном между исходными продуктами – преимущественно могут преобладать высокоосновные гидросиликаты кальция.

Таблица 1

Динамика перехода гипса в гидросульфат алюминат кальция при гидратации клинкеров разного минералогического состава, % [8]

| Время, ч | Вид цемента | | | |
|----------|----------------|----------|-------------------------|-----------|
| | Высокоалитовый | Алитовый | Алитовый высокоалитовый | Белитовый |
| 1/6 | 19,9 | 3,5 | 47,2 | нет |
| 1 | 19,9 | 2,7 | 31,1 | нет |
| 2 | 18 | 8,3 | 50,9 | 3,1 |
| 3 | 11,2 | 13 | 54 | 3,7 |
| 4 | 10,5 | 19,9 | 63,3 | 3,7 |
| 5 | 11,2 | 20,5 | 65,2 | 6,3 |
| 6 | 18,6 | 20,5 | 63,3 | 13,7 |
| 8 | 17,4 | 19,9 | 63,3 | 14,2 |
| 12 | 17,4 | 16,8 | 72 | 31 |
| 24 | 42,8 | 18,6 | 68,9 | 57,2 |

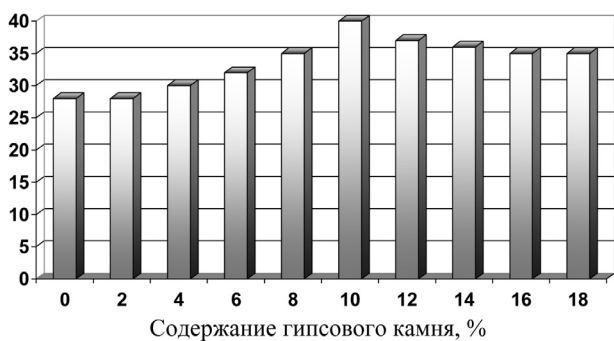


Рис. 1. Влияние добавки гипсового камня на время гашения извести

В начальный момент взаимодействия цемента с водой на поверхности цементных зерен образуются оболочки геля – продукта реакции цемента с водой. Присутствие гипса приводит к тому, что появляющиеся в начальный момент гидратации вокруг цементных зерен пленки будут преимущественно состоять из мельчайших кристаллов гидросульфатоалюмината кальция. Присутствие гипса в независимо от минералогического состава клинкера всегда снижает pH жидкой фазы. Гипс препятствует растворению щелочных сульфатов. В процессе гидратации клинкеров разного минералогического состава он переходит в гидросульфатоалюминат кальция (табл.1). В начальный момент в жидкой фазе создаются условия для образования трехсульфатной формы гидросульфатоалюмината ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$).

Образование оболочек гидросульфатоалюмината кальция вокруг гидратирующихся зерен цемента – одна из основных причин, объясняющих влияние гипса на замедление схватывания цементно-водной суспензии. Изучая влияние гипса на тепловыделение цементов при гидратации, Шейкин А.Е. [9] показал, что именно наличие добавки 5% гипса приводит к резкому уменьшению скорости тепловыделения при гидратации цемента в начальный период, а ускорение гидратации в конце схватывания происходит из-за растворения блокирующих оболочек и их частичного разрушения.

Добавка гипса замедляет время гашения извести, которая является компонентом вяжущего. На рис 1. приведены результаты влияния добавки гипсового камня на время гашения извести. При проведении опытов использовалась известь с содержанием активных $\text{CaO} + \text{MgO} = 84\%$.

Как видно из рис.1 добавка гипсового камня в количестве 10% от массы извести увеличивает время гашения извести с 28 до 40 минут.

Исследование технологии производства неавтоклавного ячеистого газобетона плотностью 300 кг/м^3 [10], показало, что одним из эффективных способов регулирования кинетики газовыделения и реологических свойств газобетонных смесей является введение в их состав химических добавок. Опробованы соли различной химической природы: хлористый натрий NaCl , углекислый натрий Na_2CO_3 и сульфат натрия Na_2SO_4 . Результаты экспериментов показали, что добавки солей-электролитов по-разному влияют на кинетику процесса газообразования в смеси.

Добавка хлористого натрия интенсифицирует реакцию газовыделения, так как ионы хлора в щелочной

среде активизируют процесс растворения алюминия благодаря их адсорбции на окисленной поверхности частиц и замещению в ней ионов кислорода. Это явление способствует ускоренному растворению пассивирующих пленок на частицах алюминия в присутствии гидроксильных ионов. Введение в смесь карбонатных добавок Na_2CO_3 повышает щелочность жидкой фазы и интенсифицирует гидратацию цемента, а реакция газовыделения при этом протекает замедленно.

Присутствие в газобетонной смеси сульфатной добавки в виде Na_2SO_4 увеличивает концентрацию гидроксильных ионов в жидкой фазе газозобетонной смеси (увеличивая pH с 12,2 до 13,1) за счет усиления гидратации силикатов кальция, однако скорость газовыделения значительно уменьшается, соответственно уменьшается и объем прироста вспученной смеси, что приводит к увеличению плотности газобетона.

Исследование влияние сульфатов на замедление газовыделения нашло отражение в работах многих исследователей и сводится к тому, что присутствие в растворе ионов SO_4^{--} и Ca^{++} , образует на поверхности частиц алюминия экранирующую пленку, состоящую из гидросульфатоалюминатов кальция. Пленка, возникающая только при наличии в растворе ионов кальция, препятствует нормальному протеканию реакции газовыделения.

Предприятия по производству стеновых газобетонных блоков ведущих европейских фирм «Верхан», «Хесс», «Маза Хенке», «Итонг», «Дюрокс» предусматривают калибровку изделий и возврат 10–20% газобетонного сырца в шламбассейны. Таким образом в газобетонномешалку заливается часть заранее подготовленной предварительно гидратированной смеси. Кроме того, технологический регламент предусматривает усреднение молотого песка не менее 8 часов в шламбассейне.

Учитывая то, что в при существующей технологической схеме производства газобетона на ООО «АЭРОК» в газобетонномешалку совместно с молотым песком вводится гидратированный трехкальциевый алюминат C_3A и другие клинкерные минералы в том числе и продукт взаимодействия алюминиевой пудры с известью ($\text{Ca}_3(\text{AlO}_3) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), то по сути, в смеситель вводится добавка третьего класса, которую Ратинов В.Б. отнес к готовым центрам кристаллизации (третий класс добавки). Такие добавки ускоряют твердение вяжущих веществ могут положительно сказываться на прочности материала. Но самое главное они способны снять внутренние напряжения, что положительно сказывается на прочности газобетона. Согласно[11] добавки третьего класса могут оказать влияние на долговечность бетона только и за счет изменения параметров его поровой структуры в кинематическом аспекте.

Гипотетически можно предположить, что за счет введения в состав газобетона на стадии помола песка (в котором уже есть продукты гидратации вяжущего), добавки двуводного гипса могут быть созданы не только предпосылки ускоренного роста пластической прочности но и повышения прочности конечного продукта за счет интенсификации образования низкоосновных гидросиликатов кальция уже на стадии гидротермальной обработки.

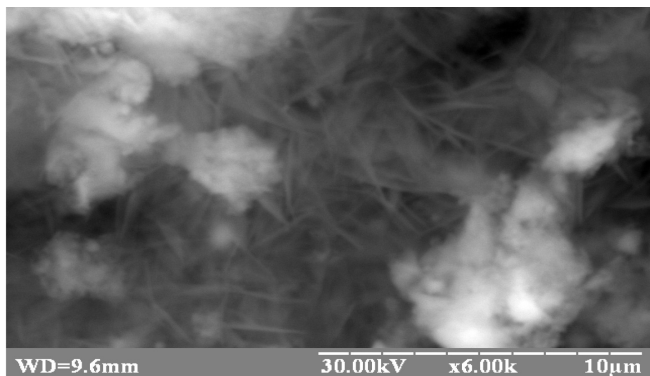


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение межпоровой перегородки газобетона

Время выдержки бетонов перед автоклавной обработкой, как это доказано многими исследователями, оказывает существенное влияние на качественные характеристики автоклавных материалов. Совокупность знаний о процессах гидратации вяжущего позволяет считать, что повторное перемешивание, вибрация или выдержка перед тепловлажностной или автоклавной обработкой изделий существенно влияет на характеристики материала и имеет определенный оптимум. По данным Кавалеровой В.И. [12] в зависимости от времени выдержки до запаривания блоки из заводской известково-песчаной смеси с содержанием активной CaO , равным 9–10% имели разность в прочности в 5,5–84%.

Можно предположить, что наличие в газобетонной смеси кристаллической затравки в последующей автоклавной обработке положительно отразится на образовании низкоосновных гидросиликатов кальция. На рис. 2 и 3 приведены электронно-микроскопические изображения микроструктуры межпоровой перегородки газобетона.

На рис. 2 хорошо просматриваются частички кварцевого заполнителя, окруженные продуктами гидратации вяжущего. Между частичками кварцевого заполнителя пространство заполнено гидратными новообразованиями.

В межпоровом пространстве ячеистого бетона с гипсовым камнем просматриваются игольчатые монокристаллические продукты новообразований C-S-H – фаз с размерами порядка 30 нм (рис. 3).

Промышленные опыты подтвердили, что введение в состав газобетона добавки гипсового камня при помоле кремнеземистого компонента из расчета 3–4% в перерасчете на SO_3 позволяет интенсифицировать технологический процесс производства газобетона, сократив на 50–70 минут время до разрезки массива на изделия. При этом повышается коэффициент конструктивного качества газобетона, при плотности газобетона 300 кг/м^3 его прочность при сжатии увеличивается с 0,8–1,1 МПа до 1,8–2 МПа

Выводы. Введение гипсового камня при помоле песка при наличии в составе шлама 10–20 % газобетонного сырца, образующегося при резке массива, до автоклавной обработки обеспечивает образование трехсульфатной формы гидросульфалюмината кальция в шламбассейне.

Наличие в составе молотого песка центров кристаллизации способствует снятию внутренних напряже-

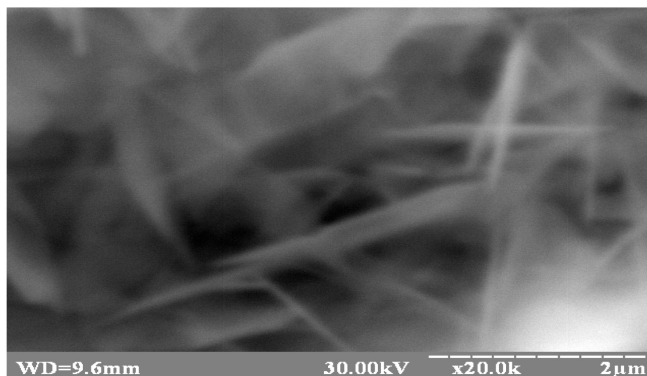


Рис. 3. Дендритообразное расположение «игол» новообразований

ний в процессе гидротермальной обработки, что положительно сказывается на прочности газобетона.

В промышленных условиях ООО «АЭРОК» получен газобетон класса

В 1,5 с плотностью 300 кг/м^3 , с более высоким коэффициентом конструктивного качества чем аналогичная продукция других предприятий отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутт Ю.М., Рашкович Л.Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах. – Госстройиздат. – М., 1965. – 223 с.
2. Куатбаев К.К., Ройзман П.А. Ячеистые бетоны на малокварцевом сырье. – Стройиздат, 1972. – 192 с.
3. Строительные материалы: Учебник / Под ред. П.В. Кривенко. – М.: Высшая школа, 1993. – 389 с.
4. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1980. – 399 с.
5. Рудченко Д.Г. Технологии энергосбережения и экономии сырьевых материалов в производстве изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения на заводе АЭРОК. Науково-технічний збірник // Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка. – 2009. – №3. – С. 97–102.
6. ДСТУ Б.В.2.Г.-17-95 «Гравий, щебень и песок искусственные пористые».
7. Естемесов З.А., Айташева У.К. Микротвердость силикатного бетона на шлаковом и известково-песчаном вяжущих. Строительные материалы из местного сырья и отходов промышленности Казахстана. Сборник трудов №15. ВНИИСТРОМ. М. 1978. – С. 33-39.
8. Курбатова И.И. Химия гидратации портландцемента. М. Стройиздат. 1977. 159с.
9. Шейкин А.Е. Влияние гипса на тепловыделение цементов при гидратации. «Научные сообщения НИИЦемента» №10, 1961. –С. 46.
10. Получение быстротвердеющего неавтоклавного ячеистого газобетона пониженной объемной массы. Федьнин Н.И., Меркулов С.И. Строительные материалы 1978. №1. – С.16-18.
11. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М. Стройиздат. 1983. – С.45.
12. Боженков П.И., Кавалерова В.И. Влияние режимов автоклавной обработки на свойства растворов и бетонов. – Бюллетень технической информации Главленстройматериалов, №9, 1961. – С. 64.