

УДК 691.544

**Н.В. ЛЕВЧУК, М.В. ВАСИЛЕВСКАЯ**

Беларусь, Брест, БрГТУ

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ  
СИЛИКАТНЫХ БЕТОНОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В силикатном бетоне применяют известково-кремнеземистое вяжущее, в состав которого входят воздушная известь и тонкомолотый кварцевый песок. Прочность известково-кремнеземистого вяжущего зависит от активности извести, соотношения  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ , тонкости измельчения песка и параметров автоклавной обработки. К этим параметрам относятся температура, давление насыщенного пара, длительность автоклавного твердения. В процессе автоклавизации между всеми компонентами происходят химические реакции. Заполнитель (кварцевый песок) участвует в синтезе новообразований, подвергаясь изменениям на глубину до 15 мкм.

В зависимости от вида извести и условий, в которых происходит ее твердение, различают три типа твердения: карбонатное, гидратное и гидросиликатное. Большой интерес представляет гидросиликатное твердение. Прочность автоклавных изделий формируется в результате взаимодействия двух процессов:

– структурообразования, обусловленного синтезом гидросиликатов кальция;

– деструктивного, обусловленного внутренними напряжениями.

Оптимальным будет такое соотношение  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  и такая тонкость помола песка, при которой весь оксид кальция  $\text{CaO}$  будет связан в низкоосновные гидросиликаты кальция. При взаимодействии кварца с известью в реакцию в первую очередь вступают гидроксильные ионы, образующиеся при растворении  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в воде. Они гидратируют молекулы  $\text{SiO}_2$ , которые в последующем взаимодействуют с ионами кальция с образованием гидросиликатов кальция. Сначала при наличии насыщенного раствора гидроксида кальция при 174,5–200 °C образуется двухосновный гидросиликат кальция состава  $(1,8-2,4)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot(1-1,5)\text{H}_2\text{O}$ . Далее при увеличении температуры и увеличении длительности тепловлажностной обработки увеличивается растворимость кремнезема и возникают условия для образования менее основных гидросиликатов кальция  $(0,8-1,5)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot(0,5-2)\text{H}_2\text{O}$ . Еще более длительная тепловая обработка способствует образованию тоберморита  $(5\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O})$ . При этом продолжительность изотермической выдержки под давлением пара 0,9–1,6 МПа составляет от 4 до 8 часов [1].

Образование различных форм гидросиликатов обуславливает следующие прочностные характеристики известково-песчаных изделий:

- гидросиликаты кальция  $(0,8-1,5)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot(0,5-2)\text{H}_2\text{O}$  обеспечивают получение бетонов высокой прочности;

- тоберморит и особенно гидросиликат  $(1,8-2,4)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot(1-1,5)\text{H}_2\text{O}$  характеризуются менее выраженными вяжущими свойствами;

- с другой стороны, гидросиликаты состава  $(0,8-1,5)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot(0,5-2)\text{H}_2\text{O}$  и тоберморит отличаются пониженной морозостойкостью и повышенной склонностью к усадке при высыхании;

- наличие в бетонах гидросиликатов состава  $(1,8-2,4)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot(1-1,5)\text{H}_2\text{O}$  способствует повышению морозостойкости и стойкости против действия углекислоты воздуха.

При подготовке известково-кремнеземистого вяжущего необходимо учитывать в технологическом процессе количество оксида кальция  $\text{CaO}$ , расходуемого на образование алюминатов кальция  $(\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{H}_2\text{O})$  [2].

Известково-песчаные изделия, полученные обработкой пара в автоклавах, при длительном нахождении в воздушной среде подвергаются воздействию углекислого газа воздуха. При этом вначале карбонизируется несвязанный гидроксид кальция (если он остался после автоклавной обработки), а затем и оксид кальция, входящий в состав гидросиликатов. Одновременно происходит разложение гидросиликатов с выделением кремнезема. Прочность изделий при этом либо не изменяется, либо даже повышается.

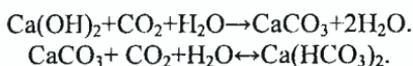
Строительные материалы, и в первую очередь их поверхности, в течение длительной эксплуатации разрушаются в основном в результате двух видов воздействия – коррозионного, связанного с влиянием на материал внешней, агрессивной среды, и эрозионного, вызываемого механическим воздействием.

При обследовании объекта на многочисленных участках поверхности газосиликатных блоков очевидны пятна, подтеки, разводы желто-серого цвета, что может характеризовать влияние внешней агрессивной среды на разрушение строительного материала или процесс химической коррозии. Объект расположен в радиусе 30 м от действующей ТЭЦ. При одновременном выбросе из трубы ТЭЦ газопаровоздушных смесей и выпадении атмосферных осадков создаются условия для углекислой, а также сульфатной коррозии [3].

Практика эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций показывает, что воды, содержащие агрессивную углекислоту в количестве более 300 мг/л, сильно агрессивны. При исследовании влияния углекислотной коррозии следует учитывать следующие теоретические положения:

- процесс углекислотной коррозии бетона в ненапорных конструкциях идет на поверхности раздела фаз «раствор  $\text{CO}_2$  – бетон», т. е. является гетерогенным процессом;

– механизм углекислотной коррозии цементного камня бетона определяется двумя взаимосвязанными процессами – образованием карбоната кальция и растворением его по реакциям:



Коррозия цементного камня, также как и в газосиликатном бетоне, в среде, содержащей агрессивную углекислоту, идет с разложением всех минералов портландцементного клинкера и их гидратных соединений. В обратимой реакции следует различать углекислоту, связанную в гидрокарбонате  $\text{Ca(HCO}_3)_2$ . Появление в растворе «сверхравновесного» количества углекислоты вызывает растворение новых порций  $\text{CaCO}_3$ . Эта избыточная кислота называется агрессивной. Углекислотная коррозия действует на бетон тем слабее, чем больше в водном растворе гидрокарбонатов кальция и магния.

Таким образом, процесс углекислотной коррозии бетона можно исследовать по изменению концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , pH в водных вытяжках из различных слоев газосиликатных блоков.

Для исследования содержания вышеперечисленных показателей, из образцов были получены вытяжки, приготовленные следующим образом. Из газосиликатного блока были вырезаны фрагменты внешней и внутренней части. Эти фрагменты измельчались в фарфоровой ступке, после чего навеска массой 1 г помещалась в колбу с объемом дистиллированной воды 100 мл. Дальнейшие исследования вытяжек из образцов проводились по стандартным методикам (ГОСТ-2374-02 «Вода питьевая», ГОСТ 31957-2012).

Углекислота может присутствовать в растворе в виде трех форм [2; 3]:

1) свободная углекислота, которая образуется при взаимодействии  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ;

2) углекислота в виде  $\text{HCO}_3^-$ ;

3) углекислота в виде  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Все три формы могут переходить из одной в другую в зависимости от pH среды. Результаты испытаний представлены в таблицах 1–4.

Таблица 1 – Результаты испытания контрольного образца газосиликатного блока, предоставленного заводом-изготовителем

Показатели	Внешняя сторона	Внутренняя часть
$\text{Ca}^{2+}/\text{CaO}$ г/л	0,024	0,020
$\text{OH}^-$ г/л	0,041	0,048
$\text{CO}_3^{2-}$ г/л	0,013	0,024
$\text{HCO}_3^-$ г/л	0,036	0,034
pH	9,99	9,91

Таблица 2 – Результаты испытания образцов газосиликатных блоков, взятых из участка № 1 объекта

Показатели	Внешняя сторона	Внутренняя сторона
$\text{Ca}^{2+}/\text{CaO}$ г/л	0,022	0,018
$\text{OH}^-$ г/л	0,032	0,047
$\text{CO}_3^{2-}$ г/л	–	0,108
$\text{HCO}_3^-$ г/л	0,109	0,061
pH	8,64	9,47

Таблица 3 – Результаты испытания образцов газосиликатных блоков, взятых из участка № 2 объекта

Показатели	Внешняя сторона	Внутренняя сторона
$\text{Ca}^{2+}/\text{CaO}$ г/л	0,026	0,019
$\text{OH}^-$ г/л	0,036	0,043
$\text{CO}_3^{2-}$ г/л	–	0,054
$\text{HCO}_3^-$ г/л	0,128	0,098
pH	8,64	9,48

Таблица 4 – Результаты испытания образцов газосиликатных блоков, взятых из участка № 3 объекта

Показатели	Внешняя сторона	Внутренняя сторона
$\text{Ca}^{2+}/\text{CaO}$ г/л	0,050	0,020
$\text{OH}^-$ г/л	0,034	0,041
$\text{CO}_3^{2-}$ г/л	–	0,036
$\text{HCO}_3^-$ г/л	0,122	0,110
pH	8,00	9,92

По результатам химических анализов можно сделать следующие выводы.

1. Практически у всех представленных образцов на основании проведенных исследований вытяжек проявляются общие тенденции, характеризующие влияние внешней среды на процессы коррозии материала.

2. Сравнительный анализ данных исследований образцов, взятых с различных участков объекта и контрольного образца, показывает увеличение значения pH во внутренних частях блоков, что можно объяснить более высоким содержанием силикатов кальция и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , снижение значения pH может быть вызвано попаданием агрессивных атмосферных осадков с низкими значениями pH на поверхность материала.

3. Увеличение значения рН по глубине материала подтверждается и увеличением щелочности.

4. Отсутствие карбонат-ионов в вытяжках образцов со значениями рН ниже, чем 8,8, указывает на то, что процесс образования гидрокарбонатов кальция не завершен и при увеличении концентрации ионов кальция будет протекать реакция образования гидрокарбонатов кальция, т.е. процесс коррозии будет продолжаться. Такой процесс будет инициировать повышенное содержание остаточной влаги, выпадение атмосферных осадков.

5. Более высокое содержание ионов кальция и гидрокарбонат-ионов во внешнем слое указывает на то, что в наружном слое создаются условия для образования гидрокарбонатов кальция. Однако при увеличении содержания гидрокарбонатов в агрессивной среде процесс коррозии материала замедляется ввиду смещения равновесия химической реакции  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  влево.

6. Полученные результаты анализов подтверждаются натурным обследованием участков объекта.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и поврежденных строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : Пейнт-Медиа, 2006. – 320 с.
2. Строительное материаловедение : учеб. пособие / под общ. ред. В. А. Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д : Феникс, 2010. – 588 с.
3. Москвин, В. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов ; под общ. ред. В. М. Москвина. – М. : Стройиздат, 1980. – 536 с.