

УДК 691.544:666.97:546

Н.В. ЛЕВЧУК, М.В. ВАСИЛЕВСКАЯ, А.В. ЗАМИРОВСКИЙ
Беларусь, Брест, БрГТУ

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ
НА ОСНОВЕ НАПРЯГАЮЩИХ ЦЕМЕНТОВ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ СУЛЬФАТСОДЕРЖАЩИХ СРЕД**

Проблема коррозионных повреждений бетонных и железобетонных конструкций под воздействием жидких агрессивных сред приобретает особую актуальность, т.к. состояние и эксплуатационные характеристики таких конструкций инициируют не только технические и экономические проблемы, но также оказывают негативное влияние на окружающую среду и безопасность человека.

При изготовлении и применении железобетона как материала, отличающегося положительными эксплуатационными свойствами, в том числе высокой коррозионной стойкостью, необходимо учитывать возможность

химического взаимодействия с внешней средой. Тем не менее, вследствие разных причин известно много случаев преждевременного коррозионного повреждения железобетонных конструкций. Такими причинами являются неточность в проектировании, использование неправильно подобранных материалов, ошибок в выборе количественного состава и т.д. [1].

При эксплуатации сооружений из цементных бетонов, подвергающихся постоянному воздействию жидкой среды, содержащей вещества, способные вступать в химические реакции с цементным камнем, возникает проблема образования легкорастворимых продуктов реакции или веществ в порах цементного камня, уносимых с водой в виде амфотерных масс. Такие процессы способствуют инициации коррозии бетонов второго вида, а при наличии содержания сульфатов в жидкой среде – сульфатной или сульфоалюминатно-гипсовой коррозии (при концентрации сульфатов от 250–300 до 1000 мг/л развивается сульфатная коррозия бетонов, при содержании сульфатов более 1000 мг/л – сульфоалюминатно-гипсовая коррозия) [2].

Одним из наиболее сложных вопросов в изучении процессов коррозии является коррозия бетона в сульфатных средах. До недавнего времени основным способом защиты бетонов от сульфатной коррозии считалось уменьшение содержания алюминатной фазы в цементах, входящей в структуру этtringита, что ограничивает его рост и обеспечивает достаточную долговечность бетона. Однако последние исследования показали недостаточность этого условия для защиты бетона вследствие образования при воздействии сульфатов наряду с этtringитом и таумасита [3].

Основой большинства цементов является, как известно, портландцементный клинкер. Вводя модифицирующие добавки и нормируя минералогический состав, получают цементы, необходимые для использования их в различных условиях эксплуатации. Так, например, для повышения надежности, долговечности и улучшения эксплуатационных характеристик бетонных и железобетонных конструкций при сульфатной агрессии применяют ряд специальных цементов. К ним относят, в том числе, сульфатостойкие и напрягающие цементы. Напрягающий цемент является представителем расширяющих цементов. Расширяющиеся цементы, в отличие от традиционных, в процессе твердения увеличиваются в объеме, что и позволяет в значительной мере нейтрализовать влияние усадки, негативно влияющей на свойства бетона. Основу напрягающего цемента составляет портландцементный клинкер (около 2/3 состава), к которому при помеле добавляют повышенное по сравнению с портландцементом количество гипса, а также дополнительно высокоалюминатные шлаки.

Сульфатостойкость цемента обеспечивается, прежде всего, минералогическим составом, в котором ограничивается содержание нестойких к

сульфатной агрессии минералов. Сульфатостойкий портландцемент содержит 50 % C_3S , 5 % C_3A от 10 до 22 % ($C_3A + C_4AF$) [1].

Изучением состояния бетонных конструкций занимался А.А. Байков. Он отмечал образование лишь следов сульфат-ионов, характеризующих присутствие малорастворимого гидросульфоалюмината кальция, что сопровождается значительным увеличением внутренних напряжений, вследствие чего масса бетона разрыхляется и становится сильно водопроницаемой. Однако потери при прокаливании полуразрушенного бетона составили в процентном отношении: вода, углекислый газ, органические примеси – 41,72 %; кремнезем – 5,37 %; оксиды алюминия и железа – 0,684 %; оксид магния – 40,72 %; серный ангидрид – всего лишь 1,47 %. Содержание сульфатов в разрушающемся бетоне может быть больше по сравнению с содержанием их в исходном портландцементе. Накопление сульфатов происходит в результате взаимодействия составляющих цементный камень с солями, содержащимися в воде и, прежде всего, это соли магния. Накопление сульфатов также может быть обусловлено различной плотностью цементного камня и, если плотность бетона высока, диффузия солей замедляется. Соли магния (сульфаты) реагируют с гидроксидом кальция в поверхностном слое, а полученный гидроксид магния осаждается в поверхностном слое, создавая мембрану, через которую сульфат-ионы диффундируют вглубь бетона. Таким образом, количество сульфат-ионов в глубине конструкции растет, возможен и обратный процесс выхода сульфат-ионов в раствор [4].

Нами проводились исследования сульфатостойкости напрягающего бетона на основе цемента с добавкой, представляющей собой смесь метакалина ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) и гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). В ходе исследований оценивалась сульфатостойкость двух составов бетонной смеси. В исследуемых составах бетонной смеси дополнительным источником гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция являлась вводимая добавка метакалина.

Состав бетонной смеси I: (напрягающий цемент/песок/щебень/вода): 1,000/2,125/2,625/0,472. Напрягающий цемент представлял собой смесь 9 частей портландцемента (марки СЕМ I 52,5 N по СТБ ЕН 197) и 1 части добавки. Для достижения требуемой удобоукладываемости бетонной смеси в нее вводился пластификатор СП-1, в количестве 7 литров на $1 м^3$ бетонной смеси.

Состав бетонной смеси II: (напрягающий цемент/песок/щебень/вода): 1,000/1,000/1,600/0,400. Напрягающий цемент представлял собой смесь 75 % портландцемента (марки ПЦ1500-ДО по ГОСТ 10178-85), 13 % метакалина и 12 % гипса.

Для исследования сульфатостойкости бетона на основе смеси данных составов использовался ускоренный метод определения сульфатостойкости бетона, предназначенный для определения коррозионной стойкости

бетона в средах с концентрацией сульфат-ионов не более 2000 мг/л. Метод основан на сравнении скорости поглощения агрессивных ионов (SO_4^{2-}) испытуемым бетоном и особо плотным бетоном повышенной сульфатостойкости, приготовленным из портландцемента по ТУ 21-21-10-80.

На рисунке 1 отображены кривые поглощения бетонами составов I, II сульфат-ионов во времени относительно эталонной кривой поглощения (особо плотным бетоном повышенной сульфатостойкости), построенные по результатам испытаний (таблица 1).

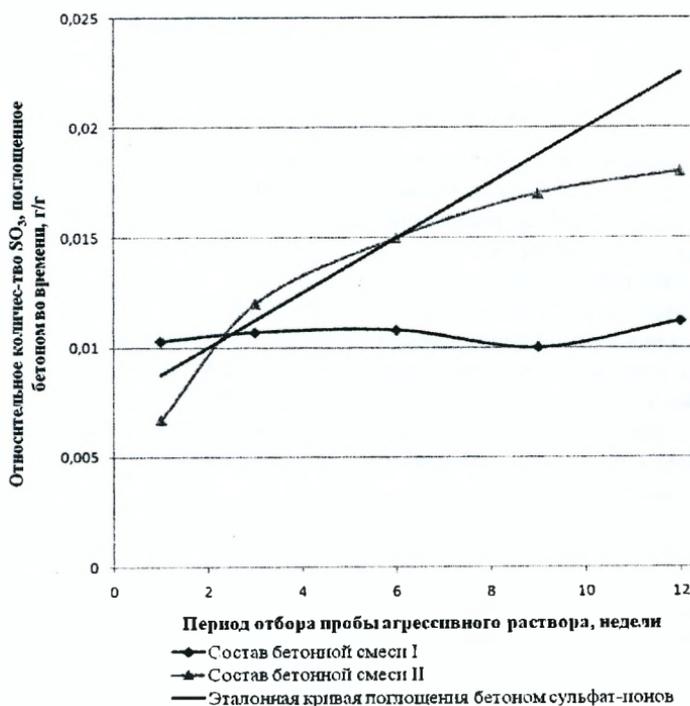


Рисунок 1 – Кривые поглощения бетоном состава I, II сульфат-ионов во времени относительно эталонной кривой поглощения

Таблица 1 – Результаты исследования сульфатостойкости I и II состава бетонной смеси

| Период отбора пробы агрессивного раствора, недели | 1 | 3 | 6 | 9 | 12 |
|--|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Относительное количество SO ₃ , поглощенное бетоном во времени, г/г | Состав бетонной смеси I | | | | |
| | 0,0067 | 0,0120 | 0,0150 | 0,0170 | 0,0180 |
| | Состав бетонной смеси II | | | | |
| | 0,0103 | 0,0107 | 0,0108 | 0,0100 | 0,0112 |

Анализ полученных результатов исследований позволил сформулировать следующие выводы по возможности использования данных составов бетонной смеси для изготовления конструкций, эксплуатируемых в сульфатной агрессивной среде.

Состав бетонной смеси I:

1. В период с первой по третью неделю выдержки образцов цементного бетона в агрессивной среде происходит интенсивное поглощение сульфатов из исходного раствора, приводящее к превышению значений сульфатостойкости бетона относительно эталонной кривой.

2. В период с шестой по седьмую неделю выдержки образцов процесс поглощения сульфатов замедляется и кривая поглощения сульфатов пересекает эталонную кривую.

3. За следующий период испытаний кривая поглощения сульфатов значительно ниже эталонной, что позволяет использовать данный состав бетона для изготовления сооружений, работающих в сульфатных средах и считать бетон сульфатостойким.

4. Однако, исходя из теоретического материала и результатов исследований, в период с первой по седьмую неделю эксплуатации гидротехнического сооружения не рекомендуется подвергать бетон воздействию сульфатосодержащей жидкой среды, способствующей ускорению процессов коррозии бетона. В этот период содержание гидроксида кальция и гипса, как продукта перехода трехсульфатного гидроалюмината кальция в моносulфоалюминат, в поровом пространстве бетона наиболее высокое, а избыток алюминатов, возможно, приводит к образованию неустойчивых соединений.

Состав бетонной смеси II:

1. Кривые поглощения сульфат-ионов в исследуемых образцах имеют нисходящие значения, т.е. за весь период вытяжки образцов в агрессивной среде SO_4^{2-} выделился во внешнюю среду. Это подтверждается увеличением массы осадка BaSO_4 .

2. Такой процесс можно объяснить с одной стороны добавкой гипса в бетонную смесь и накоплением его в поровом пространстве, с другой стороны, в связи с добавлением метакалина в бетонную смесь увеличивается образование частиц этtringита, который в дальнейшем вследствие перекристаллизации приводит к усилению взаимодействия воды и цемента и увеличению сульфатных новообразований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 536 с.
2. Баженов, Ю. М. Технология бетона : учебник / Ю. М. Баженов. – М. : АСВ, 2003. – 500 с.
3. Федосов, С. В. Сульфатная коррозия бетона / С. В. Федосов, С. М. Базанов. – М. : АСВ, 2003. – 192 с.
4. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества / А. В. Волженский. – М. : Стройиздат, 1986. – 463 с.