УДК 624.01

Н. В. ЛЕВЧУК*, П. В. КРИВИЦКИЙ*
*Беларусь, Брест, БрГТУ

О ВАЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ КАРБОНИЗАЦИИ В КОМПЛЕКСНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Часто при физико-химическом анализе образцов строительных материалов обследуемых объектов специалисты не определяют степень карбонизации, считая достаточным установление показателя pH водной вытяжки. Тем не менее, для того, чтобы понять важность определения степени карбонизации строительных материалов, в частности, цементных бетонов, необходимо рассмотреть ряд химических процессов, влияющих на устойчивость как самого материала, так и объекта в целом, к воздействию факторов агрессивной внешней среды.

Под химическим процессом карбонизации понимают реакцию гидроксида кальция с диоксидом углерода из воздуха с образованием карбоната кальция. В результате процесса карбонизации уменьшается значение pH, что снижает защитные свойства бетона. Однако на снижение величины pH оказывают влияние и другие кислотные оксиды, содержащиеся в атмосферном воздухе. К ним относятся оксиды азота различной валентности, оксиды серы и другие примеси.

Процесс карбонизации строительных материалов протекает в несколько стадий. К первой можно отнести проникновение диоксида углерода путем диффузии в поверхностные капилляры строительного материала. При этом капилляры являются микрососудами для транспортировки газов и воды, способных проникать в глубь материала [1]. Вторая стадия – это образование угольной кислоты внутри капиллярной системы материала. Третья стадия – реакция нейтрализации угольной кислоты щелочными компонентами цементных растворов и природного камня.

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3, \quad (1)$$

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 . \quad (2)$$

Реакция 2 является обратимой и зависит от влажности и температуры окружающей среды, пористости материала, концентрации двуокиси углерода в атмосферном воздухе. От этих же факторов зависят процессы растворения и повторной кристаллизации карбоната кальция, так как повышение температуры способствует кристаллизации, а присутствие влаги ведет к миграции гидрокарбоната в другие области материала.

Понятно, что содержание влаги в строительном материале всегда зависит от влажности воздуха. Поскольку карбонат кальция является гигроскопичной солью, то при образовании его в порах материала уровень влажности повышается даже при температурах ниже точки росы. Причем, чем тоньше поры, тем интенсивнее конденсация на поверхности пор, нарушающая равновесную влажность строительного материала (2). Равновесие смещается в сторону растворимого гидрокарбоната кальция.

Растворимая соль кальция впоследствии вымывается из материала грунтовыми или дождевыми водами либо проникает в глубь материала. Это вызывает повреждение структуры материала.

В процессе гидратации, кристаллизации и перекристаллизации солей в пористой структуре материала происходит накопление солей, способствующих механическому разрушению стуктурообразующих кристаллогидратов. Такой процесс приводит к образованию трещин, деформаций и, как следствие, проникновению агрессивной внешней среды, влаги и газов в глубину материала.

Растворимость соли также является важным критерием агрессивного воздействия, обуславливающего ее перенос внутрь материала. Так растворимость:

- карбоната кальция ($CaCO_3$) – 0,0015 г/ на 100 г;
- нитрата кальция ($Ca(NO_3)_2$) - 266 г/ на 100 г воды;
- сульфата кальция ($CaSO_4$) – 0,24 г/на 100 г;
- хлорида кальция ($CaCl_2$) – 75 г/ на 100 г воды.

При сравнении растворимости солей кальция очевидно, что растворимость карбоната кальция значительно меньше, чем других солей. Однако, концентрации оксидов азота, серы в атмосферном воздухе многократно меньше и могут превышать фоновые концентрации в зонах промышленных предприятий и транспортных коммуникаций с большим количеством выбросов в атмосферный воздух.

Например, выбросы от автотранспорта, являющиеся продуктами сгорания топлива, составляют до 75 % всего объема выбросов [2]:

– оксиды углерода – 59,7 млн т/год;
– углеводороды – 10,9 млн т/год;
– оксиды азота – 5,5 млн т/ год;
– серосодержащие соединения – 1,0 млн т/ год.

При этом содержание:

– CO_2 в атмосферном воздухе составляет – $2{,}6\cdot10^{12}$ т;
– NO_2 и NO оксиды азота – $0{,}013\cdot10^{9}$ и $0{,}005\cdot10^{9}$ т;
– SO_2 оксид серы - $2\cdot10^{6}$ т.

Отсюда можно сделать вывод, что содержание двуокиси углерода в составе газов порового пространства наибольшее и при определенных известных факторах создаются условия для проникновения CO_2 в глубину материала.

Увеличению концентрации CO_2 в порах бетона способствует содержание оксида серы (SO_3) в атмосферном воздухе. В поверхностном слое бетона происходит образование серной кислоты, взаимодействующей с минералами цементного камня и карбонизированным CaO. В результате происходит образование соли обладающей большей растворимостью, чем карбонаты [3]:

$$CaCO_3 + H_2O + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4\cdot2H_2O + CO_2\uparrow. \qquad (3)$$

Концентрация углекислого газа в атмосферном воздухе заметно влияет на процесс карбонизации, скорость которого повышается с увеличением температуры и содержания углекислого газа. Следует отметить, что диффузия углекислого газа во влажном воздухе происходит примерно в 10000 раз быстрее, чем в воде, увлажняющей защитный слой бетона.

В бетоне, который эксплуатировался в агрессивной атмосфере с содержанием кислых газов, обычно выделяют три основных слоя [4]:

– внешний, нейтрализованный газом, образующим более сильную кислоту, чем угольная;

– средний, карбонизированный;

– внутренний, не подвергшийся действию кислых газов.

После карбонизации защитного слоя бетона на всю его глубину интенсифицируется коррозия стальной арматуры, которая является основной причиной разрушения железобетонных конструкций.

Однако в настоящее время проблемным является вопрос критериев оценки состояния бетона, его защитных свойств по отношению к стальной арматуре. По исследованиям В. И. Бабушкина бетон теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре при pH < 11,8, но это не означает, что степень карбонизации при таком показателе будет максимальной. Снижение значений водородного показателя может быть следствием внутренних физико-химических процессов перекристаллизации солей.

Снижение значения pH в вытяжках бетона не является критерием оценки содержания углекислого газа в поровой структуре бетона. Очевидно, что содержание углекислого газа и других кислых газов в поверхностных слоях бетона будет выше, а значение pH ниже, но какая глубина проникновения углекислого газа вглубь бетона при этом?

Следовательно, при комплексном обследовании объектов различной инфраструктуры возникает необходимость определения содержания двуокиси углерода в образцах материалов на различной глубине от поверхности образца. Степень карбонизации бетона характеризуется химически связанным с цементным камнем диоксидом углерода, которая определяется в процентах от массы цемента в соответствии с СТБ 1481-2011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрессель, Ф. Ремонт влажностных и поврежденных солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М. : ООО «Пэйнт-Медиа», 2006 – 320 с.

2. Голдовская, Л. Ф. Химия окружающей среды / Л. Ф. Голдовская. – 3-е изд.- М. : Мир ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 295 с.

3. Павлова, И. П. Влияние воздействия внешней воздушной среды на процессы карбонизации бетона дымовых труб / И. П. Павлова, Н. В. Левчук, В. С. Андреюк // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 70–77.

4. Москвин, В. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев; под общ. ред. В. М. Москвина. – М. : Строиздат, 1980. – 536 с.