

Карбонизация защитного слоя бетона

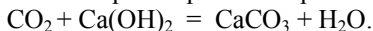
Мацкевич Т.С., Хожовец Е.Б.

Научный руководитель – Бабицкий В.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Карбонизацией называют процесс взаимодействия (при определенных температурно-влажностных условиях) свободной гидроксиды кальция, находящейся в поровой жидкости бетона, с углекислым газом воздуха при последующем образовании малорастворимого карбоната кальция:



В результате этой реакции щелочность поровой жидкости бетона защитного слоя снижается ниже границы пассивации ($\text{pH}=11,8$), что при определенных условиях вызывает активацию стали с последующей ее коррозией.

Карбонизацию бетона относят к гетерогенной реакции. Обычно такие реакции состоят, по меньшей мере, из трех стадий. Первая стадия включает в себя перенос реагирующих веществ к поверхности раздела фаз – реакционной зоне. Второй стадией является собственно гетерогенная химическая реакция. Третья стадия заключается в отводе продуктов реакции из реакционной зоны.

На кинетику (скорость) карбонизации влияют следующие факторы:

- виды вяжущего, добавок и заполнителей;
- гранулометрический состав вяжущего и заполнителей;
- состав бетонной смеси, способ ее приготовления и условия твердения;
- состав газовой среды;
- воздействие среды во время твердения;
- химические свойства продуктов коррозии;
- частота увлажнения бетона;
- температура среды, ее равномерность, величины перепадов;
- продолжительность воздействия.

Анализируя многочисленные исследования ученых в этой области можно видеть, что глубина карбонизации бетона примерно обратно пропорциональна расходу цемента и существенно зависит от его вида (например, относительная глубина карбонизации бетона на быстротвердеющем и шлакопортландцементе отличаются в 5 раз). Пластифицирующие добавки, как правило, замедляют карбонизацию бетона. Например, по данным Л. А. Вандаловской, бетоны с В/Ц=0,3...0,35, с добавкой ССБ и мылонафта практически не карбонизируются. Добавка молотого известняка взамен

части песка существенно уменьшает проницаемость бетона за счет отсоса некоторого количества влаги из бетонной смеси. Воздухововлекающие и газообразующие добавки также способствуют уменьшению проницаемости бетона.

При исследовании влияния температуры на кинетику карбонизации выявлено, что основное количество CO_2 переносится в глубь бетона через сравнительно небольшое количество крупных пор и более интенсивная диффузия в микропорах при пониженной температуре не может ускорить карбонизацию. Существенным фактором является также изменение равновесной влажности с изменением температуры. С повышением температуры влажность бетона при постоянной относительной влажности уменьшается.

От влажностного состояния бетона зависит и его проницаемость. По данным Ю. В. Чеховского, газопроницаемость сухих и влажных бетонных образцов может отличаться на три порядка и более. Очевидно, что скорость диффузии CO_2 в воздушно-сухом и насыщенном водой бетоне может отличаться примерно на четыре порядка подобно тому, как отличаются коэффициенты диффузии газов и неперемешиваемых жидкостей. При отсутствии влаги химического взаимодействия CO_2 с цементным камнем не происходит.

Интересные результаты получены при изучении влияния условий среды на карбонизацию бетонов. Обширные длительные испытания бетонных призм в различных условиях хранения однозначно показывают, что фактическое развитие карбонизации отклоняется от закона корня из времени.

На рисунке 1 приведено среднее значение глубины карбонизации 27 бетонов при хранении в условиях искусственного климата (температура 20°C , относительная влажность 65 %) и хранения на открытом воздухе (защищенных от дождя и незащищенных).

Вид графика объясняется тем, что диффузия CO_2 в воздухе происходит примерно в 10^4 раз быстрее, чем в воде, поэтому влажность бетонных образцов имеет решающее значение для скорости карбонизации. Незащищенные наружные поверхности конструкций находятся под воздействием постоянно меняющейся влажности. Поскольку высушивание протекает относительно медленно, в наружном слое возникает градиент влажности.

Если граница зоны высушивания более удалена от поверхности, чем фронт карбонизации, то диффузия CO_2 может развиваться снаружи до фронта карбонизации через заполненные воздухом поры. Однако если после кратковременного дождя зона высыхания находится ближе к поверхности бетона, чем фронт карбонизации, диффузия CO_2 через заполненную водой систему пор сильно затрудняется, так что карбонизация практически прекращается.

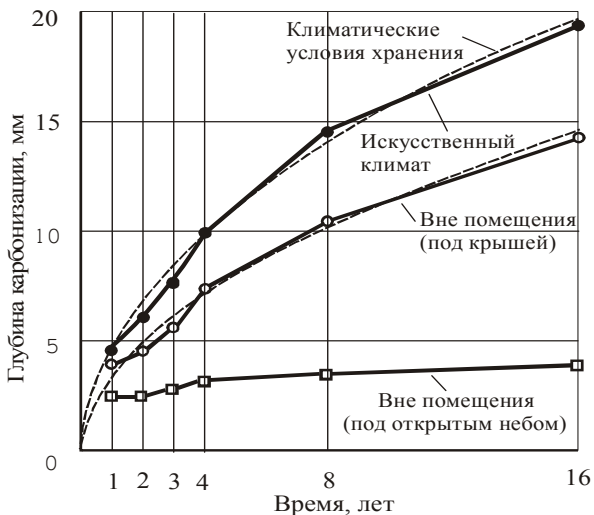


Рисунок 1 - Влияние условий эксплуатации на карбонизацию бетона
(по данным исследований Алексева С.Н. и Розенталя Н.К.).

При этом глубина высыхания зависит не только от качества бетона, но и от условий среды. Конечная глубина карбонизации устанавливается независимо от влажности бетона. При карбонизации в поровой влаге возникает разность концентрации щелочных составляющих бетона между внутренними слоями и фронтом карбонизации. Это вызывает диффузию подвижных щелочных составляющих в поровой влаге к фронту карбонизации, где они также карбонизируются.

Поскольку скорость карбонизации с увеличением глубины карбонизации уменьшается из-за увеличения пути диффузии CO_2 , в пределе устанавливается конечная глубина карбонизации, при которой к фронту карбонизации поступает столько CO_2 , сколько необходимо для реакции с диффундирующими из глубины бетона щелочными компонентами.

Следует отметить трудоемкость экспериментального определения склонности затвердевшего бетона к карбонизации – необходимы специализированное испытательное оборудование и отработанные методики, а также достаточно квалифицированный обслуживающий персонал.

В первую очередь необходимо привести наиболее распространенную (и простую) зависимость для расчета глубины карбонизации (x_K), полученную К. Кишитани:

$$x_k = K \sqrt{\frac{\tau \frac{B}{C} - 1,76}{7,2}},$$

где В/С – водоцементное отношение бетона; τ – время эксплуатации конструкции, годы; К – эмпирический коэффициент, учитывающий свойства использованных при изготовлении бетона компонентов смеси.

Но в целом можно констатировать, что надежные модели для прогнозирования глубины карбонизации бетона, учитывающие сложные эксплуатационные условия, пока отсутствуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной производственной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976, – 205 с.
2. Алексеев, С.Н. Коррозия арматуры и повышение защитного действия бетона / С.Н. Алексеев. – М.: Бетон и железобетон, 1986. – № 7. – С. 3–4.
3. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979, – 344 с.
4. Бабицкий, В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / В.В. Бабицкий. – Минск, 2006. – 539 с.