

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ  
СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОМЫШЛЕННОЕ  
И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»**

(г. Минск, БНТУ — 24.05.2011)

УДК 691.328

**НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ  
ИНТЕНСИВНОСТЬ КАРБОНИЗАЦИИ  
ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

*ГОЛШАНИ М., РУБАН А.С.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

***ВВЕДЕНИЕ***

Одним из факторов, определяющих долговечность железобетонных конструкций, является стойкость бетона к коррозионному воздействию кислых атмосферных газов. В железобетонных конструкциях коррозия арматуры начинает протекать после нейтрализации защитного слоя бетона, либо вследствие проникновения к поверхности арматуры агрессивных солей, образовавшихся при взаимодействии газа с цементным камнем. Процесс корродирования арматуры сопровождается уменьшением сечения стержней, потерей их несущей способности, а также образованием слоя продуктов коррозии на поверхности стержней, который уменьшает сцепление арматуры с бетоном и создает внутреннее отталкивающее давление на бетон. В отдельных случаях при интенсивной коррозии и тонком защитном слое, внутреннее давление приводит к откалыванию защитного слоя и оголению арматуры.

В настоящей работе в качестве объекта исследований являлась коррозия, вызванная воздействием углекислого газа – карбонизация бетона. Двуокись углерода – повсеместно присутствующий газ, и

наиболее встречающаяся причина коррозии в газовых средах. При растворении двуокиси углерода в жидкой фазе образуется угольная кислота, которая в свою очередь взаимодействует с гидроксидом кальция и образует карбонат кальция. При понижении в жидкой фазе бетона концентрации гидроксида кальция начинает растворяться кристаллический  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . При истощении ресурса кристаллического гидроксида кальция, начинают разлагаться минералы цементного камня. В бетонах с высоким В/Ц, имеющих развитую капиллярную сеть и повышенную проницаемость, процесс карбонизации связывает большую часть кальция в  $\text{CaCO}_3$ , а в отдельных случаях вплоть до 80% [1]. Параллельно с процессами растворения идёт процесс кристаллизации карбоната кальция. Отложение кристаллов карбоната кальция на стенках пор и капилляров несколько уплотняет структуру цементного камня и препятствует диффузионным процессам.

В силу того, что карбонизация – весьма длительный процесс во времени, основная масса исследований карбонизации бетона основана на обобщении натуральных обследований. Если для широко используемых добавок натурными исследованиями можно и ограничиться в силу достаточности данных, то для огромного спектра новых добавок, каждый год появляющихся на рынке, вопрос остается открытым. Очевидна необходимость экспресс-методики, которая позволит в лабораторных условиях в сжатые сроки определять влияние на карбонизационные процессы тех или иных факторов.

### ***МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ***

Установка для исследования карбонизации бетона основывается на разработках известного российского ученого Н.К. Розенталя [2] и содержит все основные составляющие: баллон со сжатым углекислым газом, редуктор, накопительную емкость, манометр, сосуд со стабильной относительной влажностью воздуха, в которую и помещают экспериментальные образцы. В качестве образцов использовали цилиндры с диаметром и высотой 50 мм, изготовленные из цементного теста с различными водоцементными отношениями и с применением химических добавок. В качестве вяжущего использовали портландцемент ПЦ-500-Д0 производства ОАО «Красносельскстройматериалы». Боковую поверхность цилиндров покрывали

слоем воска, а с торцов шлифованием снимали миллиметровый слой камня для устранения возможного естественного слоя карбонизации и рыхлой поверхности, образованной в условиях водоотделения при высоких В/Ц теста. Образцы находились в эксикаторе в газовой среде со 100% содержанием  $\text{CO}_2$  над раствором серной кислоты в течение 10 суток. Изменяя концентрацию раствора кислоты, устанавливали относительную влажность в эксикаторе в 40%, 60% и 80%. Проведен так же опыт со 100% влажностью при нахождении образцов над водой. Толщину нейтрализованного слоя определяли с помощью 0,1%-ного спиртового раствора фенолфталеина, наносимого на свежий скол бетона.

Влияние водоцементного отношения на глубину карбонизации цементного камня носит линейный характер (рис. 1).

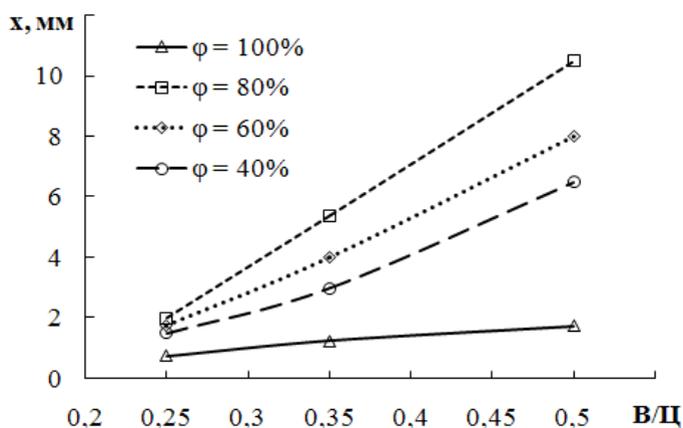


Рис. 1. Зависимость глубины карбонизации цементного камня (x) от водоцементного отношения (В/Ц) при различной относительной влажности среды

Наибольшая величина карбонизации получена при относительной влажности 80%. Взаимодействие углекислого газа с гидроксидом кальция происходит в жидкой фазе бетона, поэтому при низких значениях влажности в эксикаторе наблюдалось замедление карбонизационных процессов. При высоких значениях влажности толщина пленки влаги в порах и капиллярах цементного камня значительно больше, это способствует растворению гидроксидов кальция и выноса его в реакционную зону. Однако, при влажности среды

близкой к 100%, диффузионная проницаемость цементного камня резко снижается, и карбонизация происходит на незначительную глубину (см. рис.1). Следует отметить, что влияние влажности на глубину карбонизации наиболее ощутима при высоких В/Ц, в то время как для плотного камня глубина карбонизации при разной относительной влажности изменялась незначительно. Можно сделать вывод, что для плотного цементного камня карбонизация в основном ограничивается процессами диффузии газа вглубь бетона, а для менее плотных существенный вклад в кинетику карбонизации вносят также процессы растворения и химического взаимодействия в жидкой фазе бетона.

При низких В/Ц в цементном камне практически отсутствует капиллярная пористость [3], диффузия газа затруднена, и после карбонизации поверхностных слоев камня, процесс затухает. Диффузионный поток газа через нейтрализованный слой камня к фронту карбонизации встречает эквивалентный диффузионный поток гидроксида кальция. В этом случае в реакционной зоне происходит накопление карбоната кальция, слой цементного камня, по которому проходит фронт карбонизации, уплотняется и еще в большей степени препятствует продвижению газа вглубь камня (рис. 2).

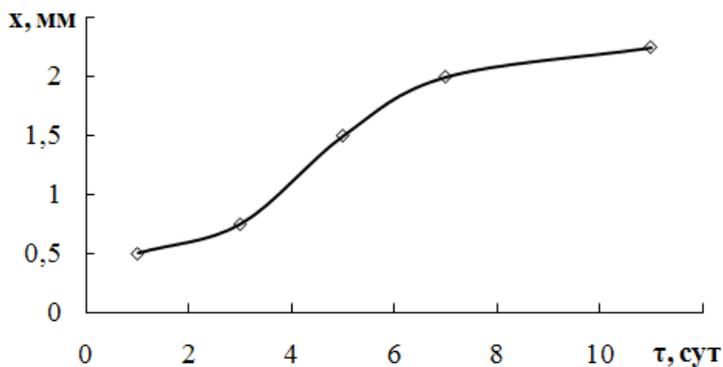


Рис. 2. Зависимость глубины карбонизации цементного камня ( $x$ ) при В/Ц=0,25 от времени нахождения в эксикаторе ( $\tau$ ) в газовой среде со 100% содержанием  $\text{CO}_2$  и относительной влажностью 80%

Было изучено влияние на карбонизацию бетона добавки ускорителя твердения сульфата натрия и пластифицирующей добавки

«Полипласт СП-1» (аналог С-3). Применение пластифицирующей добавки позволяет понизить водоцементное отношение и, следовательно, получить бетон низкой диффузионной проницаемости. Цементный камень с добавкой  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  прокарбонизировался на большую глубину, чем без добавок.

Таблица 1. Глубина карбонизации цементного камня в зависимости от В/Ц, относительной влажности и содержания химических добавок

В/Ц	Наличие хим. добавки	глубина карбонизации при $\varphi=40\%$ , мм	глубина карбонизации при $\varphi=60\%$ , мм	глубина карбонизации при $\varphi=80\%$ , мм	глубина карбонизации при $\varphi=100\%$ , мм
0,25	нет	1,0...2,0	1,5...2,0	1,5...2,5	0,6...0,9
0,35		2,0...4,0	3,0...5,0	4,5...6,3	1,1...1,4
0,5		5,0...8,0	6,0...10,0	7,0...14,0	1,5...2,0
0,25	1,0%	2,0...4,0	3,0...4,0	3,0...4,0	0,8...1,3
0,35	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	3,5...5,5	4,0...9,0	5,0...9,0	1,5...2,0
0,23	0,6%	0,5...1,0	0,5...1,0	0,5...1,5	0,3...0,5
0,28	СП-1	1,0...2,0	1,0...3,0	1,0...3,0	0,6...1,2

По мнению авторов статьи, использованная методика по исследованию карбонизационных процессов способна достоверно отображать влияние тех или иных факторов на интенсивность карбонизации. Основными преимуществами методики являются простота использования и информативность в короткие сроки

### ***ЛИТЕРАТУРА***

1. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости: дисс. д-ра техн. наук / Н.К. Розенталь. – М.: НИИЖБ, 2004. – С. 117.
2. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной производственной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976. – С.205.
3. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 2004. – С. 102.