

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИИ ЖЕЛЕЗО-БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОРСКИХ ПРИЧАЛОВ

Довгань И.В., Жудина В.И., Шарыгин В.Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Изучены причины коррозии бетона и рекомендованы мероприятия, снижающие скорость разрушения бетона морского причала.

Коррозии подвергались подпричальные надводные конструкции морского порта, выполненные из монолитно-блочного бетона. Срок эксплуатации более 20 лет. На объекте проводились ремонтно-восстановительные работы по гидроизоляции подпричальной части, применяли гидроизолятор «Ксайпекс». Однако, по истечении небольшого срока гидроизолирующий состав отслаивался в виде шероховатой сплошной серой корки. На кордонной части причала вновь появились белесые налеты в виде пятен, потеков, но не повсеместно, а преимущественно на стыках вертикальных и горизонтальных поверхностей и стыках плит перекрытий. На стыках плит перекрытий наблюдалось также образование сталактитов.

Нами для обследования были отобраны следующие образцы продуктов коррозии и бетона:

- образцы неповрежденного цементного камня;
- образцы сталактитов;
- образцы натечков.

Проведен химический анализ образцов и исследовано изменение пористости корродирующего бетона по толщине материала.

Химический анализ продуктов коррозии бетона проводился по стандартным методикам [1-2]. Средние результаты анализа образцов сталактитов и натечков приведены в таблице 1.

При прокаливании образцов продуктов коррозии бетона натечков и сталактитов могут идти процессы, которые сопровождаются изменением веса образцов.

При температуре 105-350⁰ С наблюдается дегидратация гидроалюмината кальция из цементного камня, гетита и этtringита. Потери воды из гетита, учитывая, что содержание железа 0,1-0,3 %, могут составить не более 0,05 %, т.е. основные потери около 1% это потери кристаллизационной воды из гидроалюмината кальция и

этtringита. Потери незначительны, поэтому сульфатная коррозия, продуктом которой является этtringит, если и имеет место, то в незначительной степени. Это должно только укреплять камень, а не разрушать его.

Таблица 1. Химический состав продуктов коррозии.

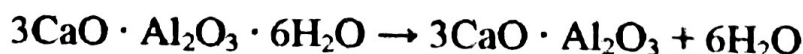
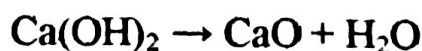
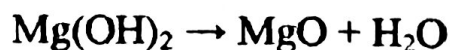
Показатель, %	Химический состав продуктов коррозии	
	Натеки	Сталактиты
Влажность	0,39	0,34
п.п.п.	40,03	44,06
SiO ₂	9,13	6,20
Al ₂ O ₃ + TiO ₂ + Fe ₂ O ₃	1,26	0,63
Fe ₂ O ₃	0,19	0,42
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	1,07	0,21
CaO	48,13	47,54
MgO	2,06	2,07
Соединения серы, в пересчете на S	0,015	0,015

Результаты определения изменения массы образцов продуктов коррозии бетона при разных температурных интервалах приведены в таблице 2.

Таблица 2. Изменение массы образцов продуктов коррозии бетона.

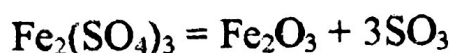
Наименование	Изменение массы образцов, % при температурах °С				
	20-105	105-350	350-450	450-600	600-900
Натеки	0,39	1,36	0,81	2,13	35,73
Сталактиты	0,34	1,19	1,11	2,09	39,67

При температуре 350-600° С наблюдается дегидратация брусита, портландита и гидроалюмината кальция



При содержании оксида магния около 2% в продуктах коррозии потери воды могут составить 1,2%. Реально определенные потери в среднем около 3%, т.е. имеет место дегидратация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидроалюмината кальция, но в небольших количествах.

Результаты определения свидетельствуют, что основные процессы изменения массы образцов идут при температурах 600-900° С. При этих температурах идут процессы разложения карбонатов и сульфатов.



Учитывая, что алюминий, железо и магний содержатся в продуктах коррозии бетона в небольших количествах (среднее содержание в образцах в %: Al – менее 0,3; Fe – 0,2; Mg – 1,2), а сера практически отсутствует (менее 0,02%), считаем что основной продукт разложения – карбонат кальция (среднее содержание кальция – 34%). Если весь кальций входит в состав карбоната кальция, то потери при прокаливании должны составить при температуре 600-900° С – 37,5%. В среднем по результатам анализа они составили 37,7%.

Итак, химический анализ продуктов коррозии бетона позволяет сделать вывод, что основным веществом, образующимся в результате коррозии, является карбонат кальция, что свидетельствует о протекании выщелачивания гидроксида кальция из бетона и его карбонизации углекислым газом воздуха и взаимодействием с карбонатами морской воды.

Для инфильтрации вод в теле бетона существуют определенные условия, а именно: дренаж ливневых и грунтовых вод по зонам макро и микротрещин в теле бетона, по стыкам между блоками и массивами бетона, а также по зонам повышенной пористости, особенно в местах контакта арматуры и бетона.

Для разработки научно-обоснованных рекомендаций по устранению процесса коррозии бетона на объекте нами исследована пористость образцов корродирующего бетона по толщине материала.

При изучении пористой структуры строительных материалов определяют значения таких её основных показателей, как объём порового пространства, удельная поверхность и средний диаметр либо радиус пор, связанных между собой следующей зависимостью (условно считают, что капилляры имеют цилиндрическую форму).

$$D_{cp} = \frac{4V}{S},$$

где D_{cp} – средний диаметр пор, см;

V – объём пор, см³/г;

S – удельная поверхность пор, см²/г.

Истинная пористость материала включает в себя все виды пор – открытые, закрытые, видимые, невидимые, сообщающиеся, мелкие и т.п.

Открытую пористость, т.е. пористость доступную для проникновения воды, определяют отношением разности массы материала водонасыщенного и сухого к его общему объёму. Открытую пористость часто называют кажущейся и вычисляют по формуле:

$$P_{откр.} = \frac{(m_{вн} - m_{сух})}{V_{общ}} \cdot 100$$

где $m_{вн}$ – масса материала в водонасыщенном состоянии, кг;

$m_{сух}$ – масса материала в сухом состоянии, кг;

$V_{общ}$ – общий объём материала, м³.

Открытая (кажущаяся) пористость, в которой имеются сообщающиеся поры, увеличивает проницаемость и водопоглощение материала, и соответственно ухудшает его морозостойкость, долговечность и т.п.

Закрытую или замкнутую пористость $P_{зак}$ материала определяют вычитанием открытой (кажущейся) пористости из истинной по следующей формуле:

$$P_{зак} = P_{ист} - P_{откр.}$$

Все виды пористости материала указывают на количество пор в процентах и совершенно не отражают, какие они – крупные или мелкие, сообщающиеся или замкнутые и т.п., т.е. не показывают их структуры, которую также необходимо учитывать при характеристике таких свойств материала, как теплопроводность, водопоглощение, водонепроницаемость, прочность, водостойкость, морозостойкость и др.

Определение плотности и пористости производили согласно ГОСТ 12730-67[3]. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты исследования пористости образцов бетона.

№ образца	Пористость, % П.	Открытая пористость, П откр., %	Закрытая пористость, П закр., %
№1 (внешний слой)	12,3	36,4	63,6
№2(промежуточный слой)	20,8	76,1	23,9
№3 (глубинный слой)	26,6	66,3	33,7

Кроме того, нами исследовались изменения пористости образцов бетона по толщине материала, для этого нами использован метод капиллярной конденсации. Суть капиллярной конденсации состоит в том, что конденсация водяного пара в порах происходит при меньшем давлении, чем давление насыщенного пара над плоской поверхностью $p < p_0$ и определяется радиусом пор [4].

Исследования проводились для различных слоев корродирующего бетона. Для этого выпиливались кубики размером 3 x 3 см из внешнего слоя, следующего за ним промежуточного и глубинного.

По результатам эксперимента, после статистической обработки, были получены интегральные кривые, учитывающие количество сконденсированной воды в порах Q_p от радиуса пор r , и дифференциальные.

Сравнительная оценка интегральных и дифференциальных кривых различных слоев камня показали, что внутренние, глубоколежащие слои содержат мелких пор -25%, а крупных -75% с тенденцией увеличения крупных пор. В промежуточных слоях, по сравнению с внешним слоем имеется некоторое увеличение процентного содержания крупных пор, что можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, тем что промежуточные слои дольше сохраняют влагу и процесс бикарбонизации, ведущий к растворению бетона происходит более длительное время. Во-вторых, внешние поры заполняются частичками карбонатов и сульфатов Mg и Ca, что ведет к уменьшению радиусов пор. Такое изменение радиусов пор ведет к тому, что зона наименьшей прочности приходится на промежуточные слои, в которых наиболее интенсивно происходят процессы трещинообразования, а затем и раскалывания, ведущие к разрушению.

Учитывая результаты исследований, нами рекомендовано провести следующие работы:

1. Для прекращения выщелачивания соединений кальция из бетона необходимо исключить инфильтрацию ливневых и грунтовых вод через бетонное сооружение; для этого необходимо снять поверхностный слой асфальта и грунта и провести гидроизоляцию наружных поверхностей причала; для гидроизоляции можно использовать как традиционные гидроизолирующие материалы

(битумы и т.д.), так и современные материалы (Гидроизол, Пенетрон, Акватрон); особое внимание уделить поверхностям на стыках плит, по которым преобладает инфильтрация ливневых вод.

2. Для устранения продуктов коррозии бетона на подпричальных^{*} поверхностях необходимо удалить потеки и сталактиты на глубину 1-4 см (глубина кумулированных пор) и затем обработать участки гидроизолирующим материалом «Пенетрон», «Сики-моно» или другими материалами проникающего действия; размеры частиц этих гидроизолирующих материалов должны быть близки к среднему радиусу открытых пор промежуточного и глубинного слоя корродирующего бетона; проникая в эти поры бетона, гидроизолирующий материал образует с влагой пор кристаллические соединения и кумулирует эти поры, поэтому нет необходимости предварительно просушивать поверхности и расширять поры перед нанесением этих гидроизолирующих материалов.

Таким образом, в данной работе были установлены причины коррозии и предложены современные материалы и методы противокоррозионных и восстановительных работ, что позволит обеспечить долговечность строительных конструкций. Однако, следует отметить, что действующий СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» не включает многие современные материалы, позволяющие эффективно проводить противокоррозионные и ремонтно-восстановительные работы, материалы, созданные специалистами за последние 20 лет. Поэтому необходимо разрабатывать новую нормативную документацию по проведению защиты строительных конструкций от коррозии.

Литература

1. ГОСТ 5382-91 Цементы и материалы цементного производства. М.: Госстрой, 1991 г.
2. Вернигорова В.Н. и др. Современные химические методы исследования строительных материалов. М.: Изд-во АСВ, 2003 – 224 с.
3. Методы определения объемной массы, плотности, пористости и водопоглощения. В кн. «Вяжущие материалы, бетоны и заполнители для бетона. Часть 2.» Изд-во Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР, 1968 г.
4. Хигерович М.И., Меркин А.П. Физико-химические и физические методы исследования строительных материалов. М., «Высшая школа», 1968.