



СОХРАННОСТЬ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ НА СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ

Защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре являются важной характеристикой долговечности железобетона. Железобетонные конструкции при значительных коррозионных повреждениях, особенно если корродирует арматура, становятся практически неремонтопригодными. Поэтому наиболее благоприятными условиями для обеспечения долговечности конструкций является пассивное состояние стали, когда при любом влажностном состоянии цементного бетона арматура практически не подвергается коррозии. Пассивное состояние арматуры сохраняется, пока не произойдет снижения рН поровой влаги бетона ниже некоторого предела (примерно до 11,5, либо содержание в ней ионов-активаторов, в частности, хлорид-ионов, не превысит некоторого критического значения (0,1...0,4% по массе цемента) [1]. Существенное влияние на защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре оказывает вид цемента, который влияет как на способность связывать, так и на диффузионное сопротивление прониканию CO_2 . Чем больше в бетоне щелочных продуктов гидратации, тем больше CO_2 может быть связано и тем медленнее перемещается фронт карбонизации в глубь бетона. С другой стороны, в цементах, которые содержат пуццолановые добавки, со временем количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ еще более понижается вследствие реакции компонентов с пуццолановой добавкой и скорость карбонизации может увеличиться.

Защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре при использовании смешанных вяжущих изучены не достаточно полно. В литературе приводятся противоречивые данные по влиянию зол и других пуццолановых добавок на состояние стали в бетоне [3-5].

Защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре следует рассматривать как функцию структуры защитного слоя. Действительно, по опытным данным [1,2] сохранность стали в бетоне обеспечивается при рН поровой жидкости более 12, что свидетельствует о наличии в составе защитного слоя щелочных продуктов гидратации вяжущего и $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В свою очередь, длительная сохранность высокого значения рН среды в полной мере связана со структурой порового пространства защитного слоя, способного сопротивляться диффузионному перемещению CO_2 в глубь защитного слоя. Поэтому при изучении влияния состава смешанного вяжущего на защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре следует обратить особое внимание на формирование оптимальной структуры цементного

камня как матрицы бетона, способной оказывать сопротивление проникновению влаги, кислорода и CO_2 к поверхности стали.

Нами исследовано влияние состава смешанного вяжущего на состояние стальной арматуры в бетоне электрохимическим методом. Часть исследований выполнена с применением прямых методов. Испытание стальной арматуры проводилось в мелкозернистом бетоне по методике, описанной в работе [1,2]. Вяжущее было получено путем совместного домолла портландцемента марки 400 Н-Ульяновского цементного завода с цеолитсодержащей породой (ЦСП) или золой ТЭЦ в присутствии модифицирующих добавок до оптимального значения удельной поверхности. Содержание активной минеральной добавки в вяжущем изменялось от 10 до 50%. Такой способ приготовления смешанного вяжущего позволяет активизировать не только клинкерную часть портландцемента, но и активную минеральную добавку за счет дополнительной аморфизации силикатной фазы ЦСП или стеклофазы золы ТЭЦ.

Учитывая, что бетоны на данных видах смешанных вяжущих наиболее рационально использовать при пропаривании, а также сложившееся мнение, что защитные свойства пропаренных бетонов ниже, чем бетонов естественного твердения, исследования выполнялись на образцах бетона, пропаренных при температуре 90 °С. Испытание образцов производилось в возрасте 27, 180 и 360 суток последующего твердения в комнатных условиях в среде с относительной влажностью 50-55%.

Экспериментальные данные по влиянию состава смешанного вяжущего на защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре приведены в таблице. За критерий оценки защитных свойств бетона на смешанном вяжущем принято значение плотностей тока стальной арматуры в пропаренном мелкозернистом бетоне состава 1:3 по ГОСТ 310-76 при потенциале 0,3В по отношению к хлорсеребряному электроду сравнения в возрасте 28 суток последующего воздушно-влажного хранения.

Введение в состав вяжущего активных минеральных добавок (АМД) до 30% не снижает защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре. Это обусловлено высокой плотностью защитного слоя бетона, оптимальной поровой структуры, способной сопротивляться диффузионному проникновению воды и CO_2 к поверхности стали. С увеличением содержания АМД в составе вяжущего более 30% защитные свойства бетона падают и сталь находится в активном



состоянии. Это обусловлено тем, что наряду со снижением рН поровой жидкости до 11,5 и менее происходит увеличение раздвижки клинкерных частиц, уменьшается плотность упаковки, повышается пористость цементного камня и, соответственно, облегчается доступ воды и CO_2 к поверхности стали.

Известно, что защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре существенно зависят от плотности защитного слоя бетона. Структура порового пространства защитного слоя бетона на смешанном вяжущем определялась по кинетике водопоглощения в соответствии с методикой, изложенной в работе [6]. Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что наибольшую интегральную (кажущуюся) пористость имеет бетон с максимальным содержанием активной минеральной добавки в составе смешанного вяжущего, а наименьшую - бетон, где в составе вяжущего содержится 30% АМД, при этом наблюдается более равномерное распределение пор по размерам.

Одной из важнейших функций защитного слоя бетона является его способность сопротивляться проникновению к поверхности стальной арматуры паров воды и углекислого газа, совместное влияние которых приводит к карбонизации бетона и понижению величины рН.

С целью определения срока полной карбонизации защитного слоя бетона исследуемых составов и сравнительной оценки их проницаемости, был определен эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в карбонизованном слое бетона. По величине карбонизации рассчитывался эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в бетоне изучаемых составов по формуле:

$$D = m \cdot X^2 / 2C \cdot t, \text{ см}^2/\text{г}, \quad (1)$$

где m - реакционная емкость бетона; X - толщина нейтрализованного слоя бетона, см; C - концентрация углекислого газа в воздухе в относительных единицах по объему; t - продолжительность воздействия газа на бетон, сут.

Продолжительность периода, в течение которого будет нейтрализован защитный слой толщиной X в атмосферных условиях, была рассчитана по экспериментальным данным, полученным при ускоренной карбонизации образцов, исходя из соотношения:

$$t = X_1^2 \cdot C_2 \cdot t_2 / X_2^2 \cdot C_1, \quad (2)$$

где C_2, X_2, t_2 - соответственно концентрация CO_2 в относительных величинах, глубина нейтрализации, мм, продолжительность карбонизации, сут; C_1, X_1 и t_1 - аналогичные характеристики для атмосферных условий. Анализ полученных данных показывает, что увеличение дозировки в составе смешанного вяжущего АМД сверх оптимального содержания приводит к повышению проницаемости защитного слоя бетона для углекислого газа, следовательно, со временем защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре понизятся. Определение расчетного периода нейтрализации защитного слоя бетона показало, что в бетоне класса В25, содержащего 50% АМД от массы портландцементного клинкера при толщине защитного слоя 20 мм, фронт карбонизации может достигнуть поверхности арматуры уже через 20 лет. В бетоне класса В15 на данном виде вяжущего период нейтрализации защитного слоя толщиной 20 мм не превышает 10 лет.

Сохранность стальной арматуры в бетонах на смешанных вяжущих оптимального состава различного возраста и условий твердения может быть связана с высокой плотностью структуры, достаточным содержанием гидроксил-ионов для поддержания щелочности среды на уровне рН=12, отсутствием в составе как золы, так цеолитсодержащей породы, вредных для арматуры компонентов, стимулирующих коррозионные процессы.

Плотная структура цементного камня и растворной составляющей бетона на смешанных вяжущих оптимального состава ограничивает диффузионную проницаемость бетона для кислорода и углекислого газа. Это приводит к уменьшению доступа газа к поверхности арматуры и карбонизации защитного слоя. Анализ кинетики карбонизации пропаренного

Таблица

Значение плотностей тока стальной арматуры в мелкозернистом бетоне

Н.П.	Доля АМД в составе вяжущего, %	Плотность тока, мкА/см ²	рН жидкой фазы в зоне расположения арматуры	Характеристика состояния стали
1	-	5,83*	12,61	Пассивное
2	10	6,0/4,3**	12,61/12,6**	Пассивное
3	20	6,2/4,8	12,60/12,5	Пассивное
4	30	8,1/6,0	12,50/12,0	Пассивное
5	40	11,0/11,5	12,00/11,5	Неустойчивое
6	50	19,2/21,0	11,60/11,0	Активное

Примечание: Значения плотности тока приведены после 50 циклов попеременного увлажнения и высушивания. Над чертой - данные для вяжущего, содержащего золу, под чертой - цеолитсодержащую породу.



бетона на смешанном вяжущем, как с использованием золы, так и с использованием ЦСП, показывает ее затухающий характер. Толщина карбонизованного слоя зависит от условий твердения образцов. Так, например, при попеременном увлажнении и высушивании бетона при комнатной температуре толщина карбонизованного слоя в возрасте как 180, так и в возрасте 360 суток меньше на 2-3 мм, чем аналогичных образцов, твердевших в комнатных условиях в среде с относительной влажностью 50-55%. Это обусловлено дополнительным сопротивлением проникновению кислорода и углекислого газа через капилляры, заполненные водой, что приводит к карбонизации лишь поверхностного слоя бетона, сохраняя вблизи поверхности стали через 5 лет хранения образцов в атмосферных условиях величины $pH=12,45-12,47$, что достаточно для пассивации стали и гарантирует ее сохранность.

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать вывод, что бетоны на смешанных вяжущих оптимального состава могут обеспечить сохранность стальной арматуры в бетоне плотной структуры.

Литература

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С. и др. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. -320с.
2. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н. и др. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980.-536с.
3. Кокубу М., Ямада Д. Цементы с добавкой золы-уноса. Основной доклад.- В кн.: Шестой международный конгресс по химии цемента. Т.3. Цементы и их основные свойства. - М.: Стройиздат, 1976. -С.83-94.
4. Skalny I., I.F.Mechanism of cement hydration// VII International Congression the Chemistry of Cement.-Paris, 1980.-vol.11.-p.110-118..
5. Комисаренко Б. С., Морозов Ю. П. Особенности применения зол Саранской ТЭС-2 в качестве мелкого заполнителя для керамзитобетона. -Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура, 1974, №6. -С. 97-102.
6. ГОСТ 12730.5-78 Бетоны. Методы определения пористости.