

УДК 502/504:691.3

В. Б. СЕМЕНОВ, А. Н. КЛЮЕВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЩЕЛОЧЕСИЛИКАТНОГО БЕТОНА ПО ОТНОШЕНИЮ К СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЕ

Приведена методика и представлены результаты исследования защитных свойств щелочесиликатного бетона по отношению к арматурным стальям железобетонных конструкций.

Щелочесиликатный бетон, стальная арматура, автоклавное производство, защита арматуры, электрохимический метод, коррозия, анодные поляризаационные кривые.

There are given methods and research results of protective properties of alkaline-lime concrete in relation to reinforcing steel of reinforced concrete structures.

Alkaline – silicate concrete, reinforcing steel, autoclave production, protection of reinforcing steel, electrochemical method, corrosion, anode polarization curves.

Способность коррозиестойкого щелочесиликатного бетона (ЩСБ) автоклавного производства на основе жидкого стекла и перлита проявлять защитные свойства по отношению к арматуре в условиях агрессивных сред во многом определяет область его применения*. Известно, что защита арматуры в бетоне на цементных вяжущих обусловлена высоким значением рН, которое создается за счет кальциевых соединений клинкера. В бетоне из щелочесиликатных вяжущих подобные соединения отсутствуют, и пассивность стали обеспечивается избытком свободных щелочей, а также плотной структурой.

Плотный коррозиестойкий бетон на основе растворимых силикатов натрия может являться защитной средой по отношению к стальной арматуре.

Защитные свойства бетона по отношению к арматуре изучались с помощью электрохимического метода на основе визуальной оценки коррозии

стальной арматуры и пластинок-шлифов в бетонных образцах.

Для визуальной оценки изготавливали серию кубов (24 шт.) размером 70,7х70,7х70,7 мм с заложенными в них металлическими пластинами-шлифами (20х30х3 мм) и серию призм (24 шт.) размером 70,7х70,7х280 мм с заложенными в них стальными стержнями диаметром 3 мм. Образцы испытывали так: а) сразу после автоклава, б) после хранения в течение 1, 3, 6, 12 и 24 мес. соответственно на воздухе и в воде; в) в 5 и 20%-ном растворах соляной кислоты.

Продолжительность выдержки форм залитых бетоном, на воздухе — 16...18 ч, после чего их запаривали в автоклаве при давлении 0,8 МПа, температуре 174 °С. Режим выдержки 2 + 8 + 2 ч.

После раскалывания образцов пластины и стержни извлекали из бетона и обрабатывали для определения глубины пропитки. Количественные характеристики коррозии определяли следующим образом. Пластины и стержни, изготовленные из стали класса В-II с чистой полированной поверхностью, перед закладкой в бетон измеряли штангенциркулем. Затем 10...15 мин

*Семенов, В.В. Коррозионная стойкость щелочесиликатного бетона [Текст] / В. Б. Семенов, А. Н. Ключев // Эффективные строительные конструкции: теория и практика : сб. статей IV Международной научно-технической конференции. — Пенза, 2005. — С. 316–319.

обрабатывали в 5%-ном растворе HCl, ингибированном уротропином из расчета 3 г уротропина на 1 л кислоты, после чего вынимали и тщательно отмывали в струе воды. Отмытые шлифы погружали на 5 мин в 5%-ный раствор щелочи, снова тщательно отмывали, насухо вытирали и сушили в сушильном шкафу при 105 °C в течение 30...40 мин. После охлаждения в эксикаторе измеряли с точностью до 0,1 мм, после чего обезжиривали спиртом с последующей обработкой в серном эфире, взвешивали на электронных весах с точностью до 0,0001 г и до момента испытаний хранили в эксикаторе.

К моменту испытаний пластины и стержни извлекали из бетона, очищали от налетов ржавчины и обрабатывали в течение 10 мин в 5%-ном растворе HCl, ингибированном уротропином, затем промывали водой.

Полностью очищенный от продуктов коррозии шлиф или стержень насухо вытирали, высушивали, охлаждали, замеряли площадь коррозии и взвешивали на электронных весах. Итоговые количественные характеристики: потеря в весе и площадь коррозии.

О пассивированном действии щелочесиликатного бетона с добавкой обожженной глины по отношению к стальной арматуре судили по результатам визуальных наблюдений и по характеру анодных поляризационных кривых (таблица). Результаты испытаний оформлены в виде графиков в координатах: по оси абсцисс — плотность электрического тока, мкА/см², по оси ординат — потенциал электрический, мВ.

Для проведения *электрохимических* испытаний из щелочесиликатного бетона были изготовлены образцы-призмы (30 шт.) размером 40x40x160 мм. В образцы закладывали по два электрода из арматурной стали класса В-11 (диаметр — 5 мм, длина — 120 мм). Поверхность электродов предварительно очищали тонкой шкуркой и обезжиривали растворителем.

О пассивированном действии щело-

челочесиликатного бетона по отношению к стальной арматуре судили по характеру анодных поляризационных кривых, снятых на стали в бетоне: а) сразу после термообработки; б) через 3 и 6 мес. попеременного увлажнения в 5%-ном водном растворе NaCl; в) после высушивания образцов (соответственно 3 + 21 ч).

Электрохимические испытания проводили в соответствии с методикой СТ СЭВ 4421-83 «Защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. Электрохимический метод испытаний». Метод основан на следующем явлении — при погружении стального электрода в раствор электролита ионы железа переходят в раствор, а электроны остаются в металле. Появляется двойной электрический слой с разностью потенциалов на границе «металл — жидкость». Скорость коррозии стали в бетоне определяется скоростью анодного процесса. По анодным поляризационным кривым можно определить степень торможения коррозионного процесса (см. таблицу).

Перед началом исследований торец образца скалывали, обнажался стержень длиной около 15...20 мм, место выхода стали из бетона изолировали масляной краской. Подготовленный образец устанавливали в электрохимическую ячейку и определяли величину стационарного потенциала. Затем с помощью потенциостата в автоматическом режиме потенциал изменялся со скоростью 6 В/ч. Величину тока измеряли через каждые 50...100 мВ изменения потенциала. Результаты испытаний оформлены в виде графиков: по оси абсцисс — плотность тока, мкА/см², по оси ординат — электрический потенциал, мВ.

Из методики СТ СЭВ 4421-83 «Защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. Электрохимический метод испытаний» известно, что сталь в бетоне пассивна, если при потенциале +300 мВ плотность тока не превышает 10 мкА/см². Если плотность тока равна 10...25 мкА/см², сталь находится в неустойчивом состоянии и

Результаты испытаний армированного щелочесиликатного бетона с добавкой обожженной глины

Условия испытаний	Толщина защитного слоя, мм	Срок, испытаний, мес.	Глубина проникновения, мм	рН водной вытяжки	Коррозионное состояние арматуры	
					Потеря массы, %	Внешний вид арматурных стержней
Нормальные, температурно-влажностные	10	24	—	10,75	Нет	Блестящая поверхность без каких-либо признаков коррозии
Вода	10	12	по всему сечению	10,70	Нет	Без признаков коррозии
Серная кислота 20% -ный раствор	5	12	7...8	4,30	27,80	Разрушение стержней
	10	24	8...9	9,7	0,012	Налеты ржавчины на стержне со стороны контакта с кислотой, противоположная поверхность блестящая
	20	24	8...9	10,75	Нет	Блестящая поверхность. Без каких-либо признаков коррозии
Серная кислота 5% -ный раствор	15	12	14...15	8,65	0,02	След коррозии со стороны контакта с кислотой
	20	12	14...15	10,75	Нет	Блестящая поверхность. Без каких-либо признаков коррозии

начинает корродировать. При плотности тока более 25 мкА/см² процессы коррозии идут интенсивно.

После окончания электрохимических испытаний из образцов были извлечены арматурные стержни. С целью определения характера коррозионных поражений был проведен визуальный осмотр.

Анализ полученных анодных поляризационных кривых, приведенных на рис. 1 и 2, показал, что стальные стержни в образцах из щелочесиликатного и щелочесиликатного с добавкой обожженной глины бетона находятся в пассивном состоянии. Плотность тока не превышает 10 мкА/см². В процессе изучения поверхности стержней, извлеченных из образцов, после снятия поляризационных кривых подтвердились результаты электрохимических испытаний (коррозии стали не наблюдалось). Таким образом, данные таблицы и результаты исследований электрохимическим методом позволяют сделать вывод, что исследуемый бетон защищает от коррозии арматуру, что, по-видимому, достигается плотным защитным слоем вокруг арматуры и высоким рН поровой воды.

Данные ускоренных испытаний были подтверждены также результатами длительных коррозионных испытаний образцов через 12 мес. и через 12 лет попеременного увлажнения 5% -ным водным раствором хлористого натрия.

Длительное воздействие растворов кислоты на армированные образцы из исследуемого бетона свидетельствуют о том, что коррозия стальных стержней происходит лишь при непосредственном контакте стержня с кислотой, находящейся в пропитанном слое бетона.

В связи с этим для обеспечения расчетного срока службы железобетонных конструкций большое значение приобретает правильное назначение толщины защитного слоя бетона.

Процесс проникания растворов серной кислоты в бетон имеет затухающий характер. При этом проникающая способность кислоты возрастает с понижением ее концентрации. Глубину проникания (12...14 мм) к 720 сут наблюдали у 5% -ной серной кислоты, к этому же времени глубина проникания у 20% -ной серной кислоты составила 8...9 мм. Проведенный химический анализ испытываемых образцов

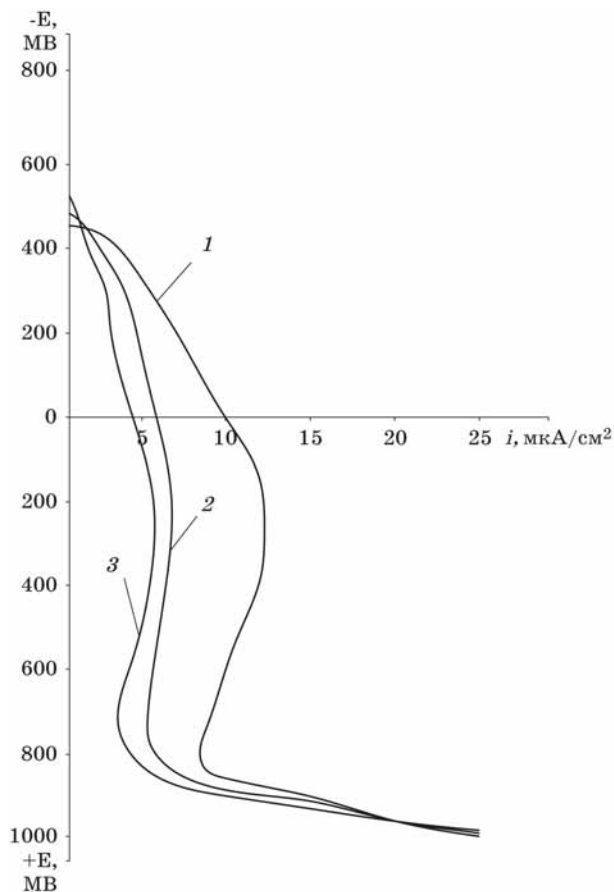


Рис. 1. Поляризационные кривые (исходное состояние): 1 — цементный бетон; 2 — щелочесиликатный бетон; 3 — щелочесиликатный бетон с глиной

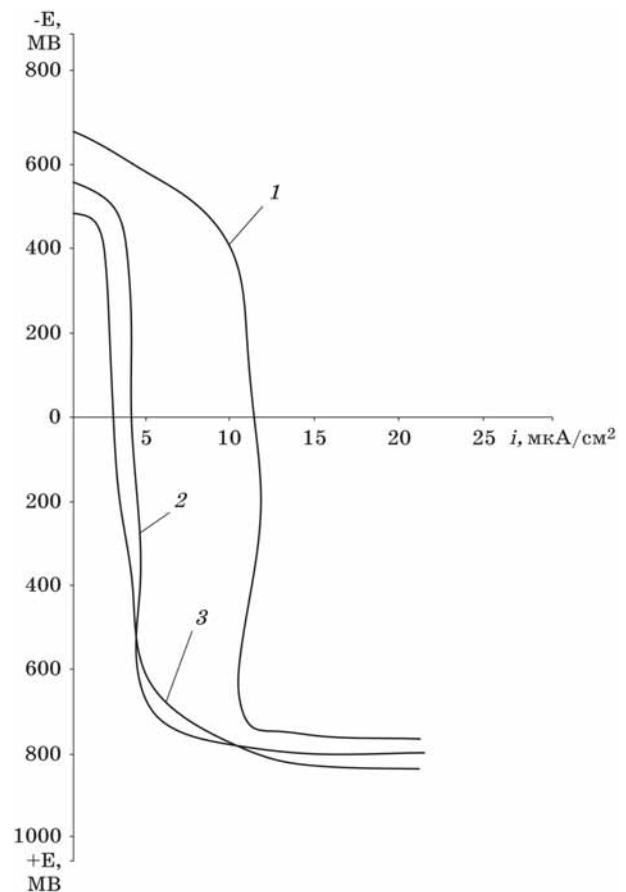


Рис. 2. Поляризационные кривые (через 6 месяцев): 1 — цементный бетон; 2 — щелочесиликатный бетон; 3 — щелочесиликатный бетон с глиной

показал, что сульфат-ионы проникли в бетон на большую (до 5 мм) глубину сверх затемненного пропитанного слоя. В этом же слое по его толщине отмечено понижение содержание SO_4^{-2} .

Проведенные исследования показали, что процесс проникания кислоты в бетон имеет диффузионный характер. Глубина проникания кислоты зависит от ее концентрации, продолжительности воздействия и проницаемости бетона.

Выводы

Исследованиями защитных свойств щелочесиликатного бетона с добавкой обожженной глины по отношению к арматурным сталям железобетонных конструкций установлено, что проникание кислоты в бетон имеет диффузионный механизм. Эффективный коэффициент диффузии серной кислоты в щелочесиликатном бетоне зависит от концентрации кислоты и времени ее контакта с бетоном. Глубина проникания кисло-

ты в бетон обратно пропорциональна ее концентрации.

Коррозия стали в щелочесиликатном бетоне начинается лишь при непосредственном контакте кислоты с арматурой. Действие воды в течение 360 сут не повлияло на пассивное состояние арматуры в бетоне.

Экспериментально установлено, что защитный слой щелочесиликатного бетона толщиной 35 мм практически непроницаем для 5%-го и более концентрированных растворов серной кислоты.

Материал поступил в редакцию 11.03.2008.

Семенов Валерий Борисович, канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой инженерных конструкций

Тел. 8 (495) 976-26-43

Клюев Александр Николаевич, канд. техн. наук, доцент, декан факультета довузовского образования

Тел. 8 (495) 976-14-36