

УДК 666.982.24

В. П. БОГДАНОВ, кандидат химических наук; В. В. ТАЛЕЦКИЙ, кандидат технических наук; А. В. ПРАСОЛ, магистр технических наук; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ ПРИ ЧАСТИЧНОМ УВЛАЖНЕНИИ

На модели железобетонной балки электрохимическими методами изучено коррозионное поведение арматуры в капиллярно-пористом теле бетона при частичном увлажнении конструкции электролитным раствором. Полученные результаты позволили определить скорость насыщения раствором бетона и распределение в нем влаги на фазовой границе жидкость – газ. Экспериментально подтверждена возможность образования макрокоррозионных пар.

На основании экспериментальных наблюдений можно считать, что процессы коррозии арматуры в бетонах имеют электрохимическую природу, и к ним применимы законы электрохимической коррозии в электролитных средах [1]. Однако коррозионные процессы в капиллярно-пористой структуре бетона имеют свои характерные особенности. В поровой структуре происходит коррозия арматуры за счет работы микрокоррозионных пар из-за неоднородности сплава. Помимо этого возможно образование макрокоррозионных пар за счет неравномерной аэрации или концентрации ионов на отдельных участках железобетонной конструкции, как это имеет место в почве [2].

О возможности образования макропар за счет наличия разных концентраций $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в железобетонных конструкциях (ЖБК) упоминается в работе [1], но экспериментальные доказательства, подтверждающие эти утверждения, не приводятся. Поэтому изучение коррозионного поведения арматуры в пористом теле ЖБК в случае локального воздействия влаги или солевых растворов, способных, по-нашему мнению, вызывать возникновение макрокоррозионной пары, представляет практический интерес.

В качестве объекта исследования служила бетонная балка размерами $5 \times 5 \times 50$ см состава Ц:П:Щ соответственно 1:0,9:2,4 с водоцементным (В/Ц) отношением 0,5. В центр балки при изготовлении поместили электроды из гладкой стальной арматуры класса А1, диаметром 10 мм и длиной 50 и 30 мм. Электроды укладывали в последовательности, показанной на рисунке 1.

Электроды, имитирующие арматуру, длиной 30 мм на рисунке 1 заштрихованы. К торцам электродов припаивали токоотводы в хлорвиниловой изоляции, после чего оба конца изолировали отвержденной эпоксидной смолой. Выведенные наружу токоотводы пронумерованы и служили для измерения силы тока микроамперметром. Балку закрепляли в вертикальном положении так, чтобы нижний конец был погружен на 10 см в раствор

NaCl . На одной из граней балки, выше уровня раствора, устанавливали вспомогательные электроды, которые для лучшего контакта с бетоном закрепляли цементно-песчаным раствором в соотношении 1:5 соответственно. Эти электроды позволяли измерять электросопротивление бетона выше уровня раствора и судить о распределении влаги по высоте балки. В растворе также устанавливали один вспомогательный электрод. Вспомогательные электроды изготавливали из меди площадью 1 см^2 .

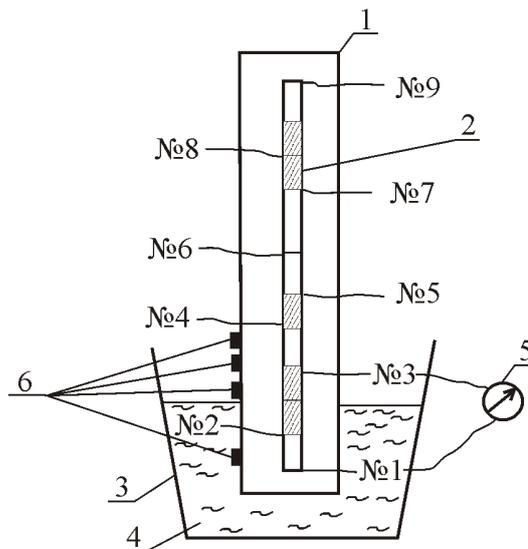


Рисунок 1 – Схема продольного разреза балки, погруженной в 3 % раствор NaCl :

№ 1, 2...9 – порядок укладки стальных электродов в балку с токоотводами; 1 – бетонная балка; 2 – электроды; 3 – сосуд; 4 – раствор NaCl ; 5 – микроамперметр; 6 – вспомогательные электроды с токоотводами для измерения электросопротивления бетона

Поскольку в свежем бетоне арматура находится в пассивном состоянии, что должно препятствовать ее коррозии, эксперименты проводили в 3 % растворе NaCl . Ионы хлора даже в щелочной среде переводят сталь из пассивного состояния в активное [1].

Электросопротивление измеряли прибором LCR цифровой Е 7–8 в следящем режиме с частотой тока 1000 Гц. Потенциалы приведены в виде ЭДС относительно насыщенного хлорсеребряного

электрода, которые измеряли универсальным иономером ЭВ-74, а силу тока – микроамперметром М907.

Как и в почве, в ЖБК образование макропар на арматуре может происходить из-за образования физико-химических неоднородностей бетона (частичного увлажнения конструкции, состава жидкой фазы, способной изменить поляризационные характеристики поровой структуры), когда цементный камень по каким-либо причинам теряет защитные свойства по отношению к арматуре. Частичное увлажнение конструкции приводит к резкому изменению кислородной проницаемости по длине металлической арматуры в бетоне и ведет к образованию разности электродных потенциалов металла и возможности появления макрокоррозийного тока.

Скорость проникновения жидких сред в капиллярно-пористое тело бетона высока. Об этом можно судить по скорости изменения электросопротивления погруженного конца балки в 3 % раствор NaCl. За двое суток после погружения в раствор на глубину 10 см R снизилось с 6,1 кОм до 158 Ом (рисунок 2).

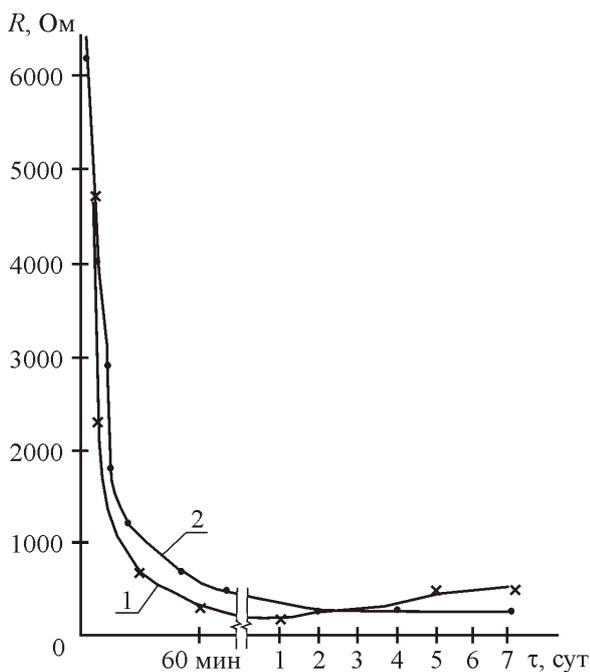


Рисунок 2 – Скорость снижения сопротивления бетона в растворе 3 % NaCl:

1 – первый эксперимент; 2 – второй эксперимент спустя 12 месяцев

Весовой метод показал, что к этому моменту образец площадью 148 см² (в 2 раза больше погруженной в раствор балки) набрал 94,5 % водного раствора, т. е. основную массу жидкой фазы. Еще выше скорость насыщения в первый час контакта с раствором, составивший 62,6 %. Можно предположить, что такая высокая скорость продвижения воды идет по периметру пор и капилляров вследствие высокого сродства молекул воды с молекулами кристаллизационной воды, выстилающих поверх-

ность капиллярно-пористой структуры цементного камня.

На третьи сутки после насыщения бетона раствором и распассивации стали под действием ионов хлора возникает разность электродных потенциалов (рисунок 3, кривая 2).

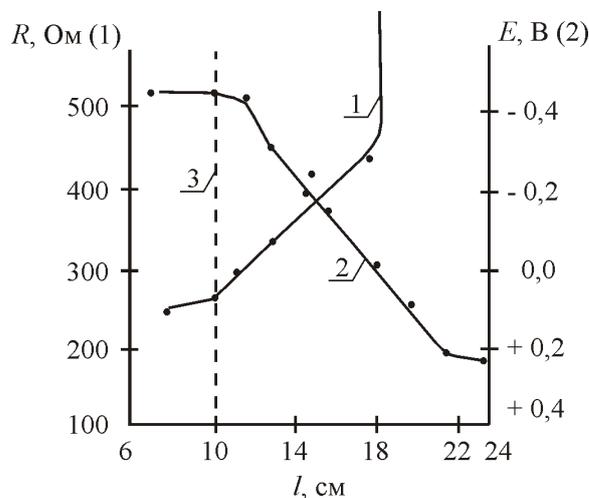


Рисунок 3 – Изменение по высоте балки R бетона и ЭДС (E) между арматурой и насыщенным хлорсеребряным электродом сравнения в 3 % растворе NaCl:

1 – R; 2 – E; 3 – граница зеркала раствора

Сильное изменение потенциалов наблюдается в части балки, которая находится выше зеркала раствора, где из-за капиллярного подсоса жидкой фазы и ее испарения влажность бетона убывает. Об этом свидетельствует возрастание R по мере удаления балки от зеркала раствора (рисунок 3, кривая 1).

Кривые показывают, что начальные E стали в жидкой фазе на 0,65 В отрицательнее, чем в сухой зоне. При последовательном кратковременном замыкании отрезков арматуры друг с другом на токоизмерительный прибор максимальная сила тока наблюдается в зоне изменения R и E, которую можно назвать переходной (рисунок 4, кривая 2).

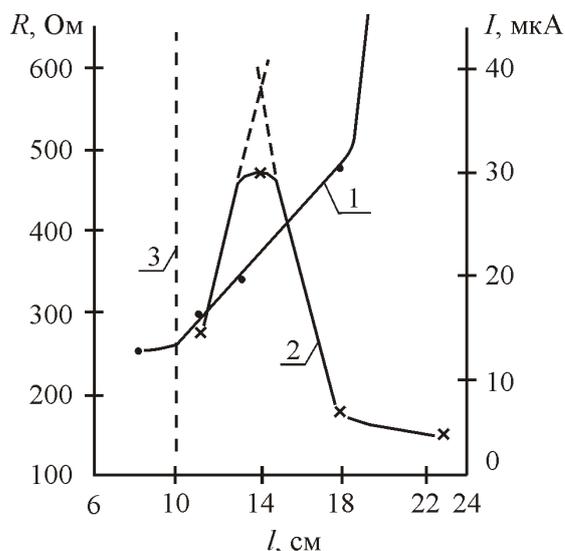


Рисунок 4 – Изменение по высоте балки R бетона и силы токов кратковременного включения макропары (I): 1 – R; 2 – E; 3 – начальные токи включения между электродами № 1–2, № 1–3, № 1–4, № 3–4 (см. рисунок 1)

В этой зоне создаются благоприятные условия работы макрокоррозионного гальванического элемента, в котором контролируемыми являются омическое сопротивление электролитной среды и затрудненность подвода кислорода к катодным участкам. Сравнительно низкое омическое сопротивление обеспечивает перемещение анионов к аноду, а катионов к катоду. Близость сухой зоны создает наиболее благоприятные условия диффузии кислорода к участкам выступающих катодов.

При длительной работе макропары между электродами № 1, 2 и 3 было установлено, что сила тока в первое время достаточно быстро падает с > 50 мкА до 25 мкА в первый час. Через сутки ток был равен 5 мкА, а через двое – 2,5 мкА. В последующие 30 суток сила тока оставалась постоянной, равной 2 мкА. После удаления балки из раствора макропара продолжала генерировать ток 2 мкА в течение 15 суток.

Торможение работы макропары в первые часы обусловлены затрудненностью отвода продуктов окисления с анодных участков при высокой плотности тока в пористой структуре бетона и переносом ионов проводника 2-го рода.

Осмотр электродов после эксперимента показал, что коррозионные продукты образовались на образце № 1 на границе раствор – переходная зона. Коррозионные поражения имели место не по всему периметру образца, а с одной стороны, которая располагалась в сторону меньшей толщины защитного слоя бетона вследствие нарушения центровки арматурных образцов.

Можно предположить, что эффективность работы макропар будет зависеть от толщины защитного слоя, пористости бетона, концентрации ионов в капиллярно-пористой структуре, поперечного сечения конструкции и отношения площадей анодной и катодной зон.

Получено 12.01.2004

V. P. Bogdanov, V. V. Taletskiy, A. V. Prasol. A corrosion behaviour of reinforcement in a capillary - porous body of concrete at partial humidifying of construction by electrochemical methods had been investigated.

The received results have allowed to define speed of saturation by a solution of concrete and distribution of moisture in it on the phase border liquid - gas. The opportunity of formation of macro corrosion pairs is experimentally confirmed.

Такой вид коррозии следует отнести к наиболее опасному, который возникает при локальном периодическом воздействии воды и, особенно, водных электролитных сред на железобетонные конструкции.

Косвенно на такой тип коррозии указывают разрушения в зоне периодического смачивания свай из железобетона, конструкций портовых причалов, автомобильных мостов, длиннопролетных балок путепроводов, плит перекрытия, когда замачивание их носит локальный характер. В этих случаях, в первую очередь, разрушение защитного слоя бетона должно наблюдаться в переходной зоне, т. е. по границе периодически увлажняемой поверхности.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- наличие капиллярно-пористой структуры кристаллогидратов в бетоне обеспечивает высокую скорость массопередачи жидких сред;
- на фазовой границе жидкость–газ (атмосфера) наблюдается образование переходной зоны за счет постепенного уменьшения содержания влаги в бетоне;
- в переходной зоне возникает наибольший скачок потенциалов на арматуре и наименьшее омическое сопротивление электролитной среды, что создает оптимальные условия для образования коррозионных макропар;
- коррозионный процесс может носить периодический или постоянный характер.

Список литературы

- 1 Москвин В. М., Иванов Ф. М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М.: Стройиздат, 1990. – 316 с.
- 2 Алексеев С. Н., Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость ЖБК в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1975. – 205 с.