

КОРРОЗИЯ И РЕМОНТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье дан краткий обзор способов ремонта железобетонных конструкций, подвергшихся коррозионному повреждению. Статья содержит сведения о ремонте и защите конструкций в условиях хлоридной и сульфатной коррозии, при морозном повреждении бетона и коррозии стальной арматуры.

Бетон и железобетон являются долговечными материалами при правильном их изготовлении и назначении мер защиты. Однако на практике нередки случаи ошибок в проектировании, выборе материалов, подборе состава, реализации технологического процесса. В ряде случаев не учитываются действительные условия эксплуатации конструкций. В связи с ухудшением экологической обстановки бетонные и железобетонные конструкции могут попадать в неблагоприятные условия эксплуатации, не предусмотренные проектом. Все это приводит к раннему повреждению конструкций.

Вопрос о долговечности железобетонных конструкций в зданиях и сооружениях является одним из важнейших. Многие здания и сооружения должны эксплуатироваться в течение 100 лет и более. Однако на практике нередки случаи, когда после ограниченных сроков службы состояние железобетонных конструкций оценивается как ограниченно работоспособное, недопустимое или аварийное [1]. Причины такого состояния конструкций различны. Основные причины коррозионных повреждений неплохо изучены и соответствующие рекомендации по их предотвращению освещены в нормативных документах [2, 3]. Раннее повреждение конструкций вызывает необходимость их ремонта.

Примерно 50-летний опыт обследования зданий и сооружений из бетона и железобетона позволяет выделить наиболее часто встречающиеся случаи коррозионного повреждения. Можно назвать следующие типичные случаи коррозии бетона и железобетона, проработав в порядке убывания частоты:

- коррозия стальной арматуры из-за воздействия хлоридных сред,
- коррозия стальной арматуры вследствие карбонизации бетона,
- морозная деструкция бетона, в том числе усиленная присутствием солей,
- повреждение бетона при капиллярном всасывании растворов солей и испарении.

Далее идут встречающиеся реже случаи коррозии в кислых и сульфатных средах, повреждение от внутренней коррозии при наличии вредных примесей в заполнителях, в том числе реакционно-способного со щелочами цемента и добавок диоксида кремния, биологическая коррозия, электрокоррозия арматуры и другие виды деструкции бетона и железобетона.

Весьма опасным является *действие растворов хлоридов на стальную арматуру* в бетоне. При проникании или введении в бетон солей хлоридов он утрачивает пассивирующее действие на стальную арматуру. На поверхности стали развивается электрохимическая коррозия, результатом которой является растворение стали с образованием слоя продуктов коррозии (ржавчины). Образующиеся продукты коррозии оказывают давление на защитный слой бетона, который, не имея высокой прочности при растягивающих напряжениях, разрушается. Многочисленными отечественными и зарубежными исследованиями установлены критические количества хлоридов в бетоне, выше которых возникает опасность коррозии арматуры. Для конструкций с обычной арматурой критическое количество хлоридов зависит от вида цемента и плотности бетона. В международной практике (европейские нормы) в качестве максимально допустимых величин приняты для конструкций

с ненапрягаемой арматурой 0,5% ионов хлоридов от массы цемента и 0,1% для предварительно напряженных конструкций.

В практике эксплуатации железобетонных конструкций известно много случаев повреждения вследствие хлоридной коррозии. Прежде всего это конструкции, подвергающиеся воздействию противогололедных реагентов, морской воды и технологических продуктов, содержащих хлориды (поваренная соль, хлорид калия в составе минеральных удобрений и другие). Разрушению подвержены железобетонные конструкции, на которые попадают названные продукты (мостовые конструкции, дорожные покрытия и элементы обустройства дорог, опоры освещения, подземные конструкции, повреждаемые проникающими в грунт солями, железобетонные конструкции производственных предприятий).

С развитием технологии бетона в последние десятилетия, с разработкой и массовым применением эффективных химических добавок появилась возможность снижать проницаемость бетона до уровня, отодвигающего момент накопления критического количества хлоридов у поверхности арматуры на длительные сроки. Применяя суперпластификаторы, можно снизить водоцементное отношение до уровня водоцементного отношения цементного теста нормальной густоты. Это позволяет снизить проницаемость бетона, оцениваемую величиной коэффициента диффузии, на 1–2 порядка величин и достичь значений порядка 10^{-9} кв. см/с. Эффективным средством является применение модификаторов, содержащих в своем составе суперпластификатор и микрокремнезем. Получение бетонов указанной проницаемости сделало реальной защиту конструкций от хлоридной коррозии без применения дополнительных мер в виде пропитки, окраски и других мер вторичной защиты [4].

При наступлении хлоридной коррозии «лечение» конструкций становится весьма затруднительным. Эффективным средством является катодная защита. Однако этот вид защиты технически мало проработан и при реализации трудоемок. Основная сложность состоит в необходимости обеспечить примерно равную плотность катодного тока по всей защищаемой поверхности арматуры и поддерживать ее длительное время. Этот способ применяется в отдельных случаях за рубежом. Одним из вариантов этого метода является кратковременная обработка конструкции катодным током с целью удаления хлоридов из бетона. В отечественной практике защита конструкций, пораженных хлоридной коррозией, включает в себя удаление загрязненного хлоридами бетона, в первую очередь защитного слоя, обнажение и очистку от ржавчины и солей поверхности корродирующей арматуры струей воды высокого давления. При значительном коррозионном поражении арматуры армирование усиливают дополнительными стержнями. Затем восстанавливают защитный слой. В зависимости от конкретной ситуации возможно применение изолирующих покрытий по очищенной поверхности стальной арматуры и поверхности бетона за арматурой. После выполнения ремонта предпринимаются меры по защите поверхности конструкций от хлоридов (пропитка, покрытия).

В настоящее время на строительном рынке имеется большое число сухих смесей для ремонтных работ, обладающих повышенной адгезией к старому бетону, отсутствием усадки, тиксотропными свойствами, необходимыми для нанесения составов на поверхность стен и потолков. Отдельные смеси содержат добавки — ингибиторы коррозии. Выпускаются защитные составы для нанесения на ремонтируемую стальную арматуру. Возможно применение композитной щелочестойкой (стеклопластиковой, базальтопластиковой) арматуры, стойкой в хлоридных средах. Распространенным случаем коррозии стальной арматуры является повреждение вслед-

Опыт и индивидуальные решения

ЛУЧШИЙ фундамент для ВАШЕГО успеха !

Немецкое семейное предприятие **weiler**, основанное в 1954 г. недалеко от города Бинген-на-Рейне, имеет многолетний опыт работы с более чем 200 машинами и комплектными линиями по всему миру.

Опытный инженерный и технический состав **weiler** разработает для Вас индивидуальное решение.

Готовые «под ключ» экструдеры и слипформеры.

- Пустотные плиты
- Стеновые панели
- Ребристые плиты
- Сэндвич-панели
- Балки перекрытий
- Балки ограждений
- Оконные перемычки
- Фундаментные сваи
- Элементы кровли



Самые прочные изделия

стве карбонизации защитного слоя бетона [5]. Процесс карбонизации состоит во взаимодействии углекислого газа воздуха с цементным камнем бетона, вследствие чего снижается щелочность бетона и утрачивается пассивирующее действие на стальную арматуру. В решающей степени скорость карбонизации зависит от проницаемости и толщины защитного слоя бетона. Массовое повреждение конструкций по указанной причине наблюдается при изготовлении низкомарочных бетонов с повышенным водоцементным отношением и вследствие этого с повышенной проницаемостью для углекислого газа. Весьма распространены случаи коррозии из-за заниженной толщины защитного слоя (скрытый брак).

Предупредить этот вид повреждения железобетонных конструкций достаточно легко. Следует назначить и реально обеспечить толщину защитного слоя и марку бетона по водонепроницаемости, регламентированные СНиП 2.03.11-85. Бетоны марок по водонепроницаемости W6 — W8 практически не карбонизируются. Требуемую толщину защитного слоя обеспечивают установкой специальных подкладок или фиксаторов арматуры, изготовленных из полимерных материалов или плотного цементно-песчаного раствора.

Существенно сложнее ремонтировать поврежденные конструкции. При ремонте следует удалить карбонизированный слой бетона. Если глубина карбонизации превышает толщину защитного слоя, то бетон должен быть удален в том числе и за арматурой. Затем механическим способом (ручного удаления ржавчины стальной щеткой недостаточно) производят очистку арматуры от ржавчины, при необходимости усиливают арматуру и восстанавливают защитный бетон. Обычно применяют ремонтные составы, обладающие после отверждения малой проницаемостью, что исключает повторную карбонизацию защитного слоя. В практике ремонта начали применять усиление железобетонных конструкций наружным армированием с помощью наклеиваемых полотнищ из углеродного волокна или установкой в специально сделанные пазы ламината из углепластика.

Морозная деструкция бетона. Этот вид повреждений встречается достаточно часто, а именно во многих случаях, когда бетон подвергается систематическому воздействию воды или растворов солей и мороза. Известно массовое повреждение дорожных и тротуарных плит, бортового камня, различного рода ограждений, опор, балконных плит, конструкций причалов, элементов гидротехнических сооружений — стенок шлюзов, конструкций гидроэлектростанций, мостовых и других конструкций. Морозная деструкция бетона многократно ускоряется, если насыщающая его вода содержит растворенные соли. Широко известны случаи преждевременного повреждения железобетонных элементов мостов от совместного воздействия противогололедных реагентов и мороза. По данным зарубежной печати, повреждения от применения противогололедных реагентов таковы, что стоимость ремонта мостов на федеральных дорогах США оценивается суммой в \$100 млрд. Значительные повреждения железобетонных конструкций мостов наблюдаются и в нашей стране.

В различных городах России наблюдалось раннее разрушение дорожных, тротуарных плит и бортового камня. В печати можно встретить информацию о том, что до 70% железобетонных опор освещения, подвергающихся обрызгиванию растворами солей с дорожных покрытий, имеют серьезные повреждения бетона и арматуры.

Обследование поврежденных конструкций показало, что, как правило, морозостойкость бетона в них была сильно занижена. Типичной ошибкой является назначение марки бетона по морозостойкости без указания метода испытаний. Дело в том, что для бетонов дорожных и аэродромных покрытий, подвергающихся воздействию противогололедных солей, стандартом ГОСТ 10060 [6] предписывается испытывать бетоны в растворе соли (5% NaCl) по второму методу (замораживание при температуре -20°C) или ускоренному третьему методу (замораживание при температуре -50°C). Испытание остальных бетонов выполняется замораживанием в воде. Действительная морозостойкость бетона, выдержавшего испытания по первому методу ГОСТ 10060 в воде и имеющего марку по морозостойко-

weiler

CONSULTATION, ENGINEERING & MACHINERY FOR THE PRECAST CONCRETE INDUSTRY

weiler gmbh · 55413 Weiler · Germany · Tel. + 49 67 21 - 3 20 31
Fax + 49 67 21 - 3 49 11 · info@weiler.net · www.weiler.net

сти F200, в 4 раза ниже морозостойкости бетона, выдержавшего испытания по второму методу (в растворе соли) и формально имеющего также марку F200. Присутствие солей в среде при замораживании бетона сильно ускоряет деструкцию бетона. Бетон дорожных и тротуарных плит, бортового камня следует испытывать по второму или ускоренному третьему методу ГОСТ 10060. Для получения бетонов высокой марки по морозостойкости обязательно применение комплекса пластифицирующих и воздухововлекающих (микрогазообразующих) добавок. Опыт разработки бетонов показывает, что бетоны дорожных покрытий марки по морозостойкости F300 могут быть получены лишь при тщательном выборе исходных материалов (цементы, заполнители, добавки) и отработке технологии с обязательным контролем достигнутой морозостойкости.

Бетон конструкций должен отвечать требованиям по морозостойкости для конкретных условий эксплуатации. О возможности изготовления бетонов весьма высокой морозостойкости свидетельствует положительный опыт эксплуатации специально разработанных бетонов для возведения приливной электростанции в Баренцевом море [7]. После 40 лет эксплуатации в суровых условиях арктического побережья в наиболее сложной приливной зоне после примерно 16 тыс. циклов замораживания и оттаивания в морской воде железобетонные конструкции сооружения находится в исправном состоянии. Бетон имел проектную марку по прочности 400, марку по морозостойкости — F1000. При последнем обследовании в 2006 г. прочность бетона была не менее 70 МПа. Высокой стойкостью в условиях Севера обладает бетон с модификатором, разработанный в нашем институте и испытывающийся на стенде в Баренцевом море. Разработкой и применением бетонов с модификаторами практически решена проблема морозного разрушения опор жилых домов с продуваемым подпольем на вечной мерзлоте в Якутске.

Ремонт конструкций, подверженных морозной деструкции, затруднен. Ф. И. Ивановым было показано, что при небольшой степени морозного повреждения бетона в дальнейшем в теплый период года возможно самозалечивание микротрещин и восстановление прочности. Однако при образовании макротрещин самопроизвольное восстановление прочности бетона невозможно. В отдельных случаях можно упрочнить бетон пропиткой низковязкими мономерами с последующей полимеризацией (метод пропитки разработан также нашим институтом). Однако нужно иметь в виду, что любое изолирующее покрытие (или пропитка), нанесенное на бетон со стороны замораживания, может вызвать ускоренное разрушение бетона. При охлаждении в бетоне возникает термодиффузионный поток влаги в направлении наиболее холодной зоны. Под пароизолирующим покрытием количество влаги в бетоне может достигать критического (степень заполнения пор более 90%), что вызывает ускоренное разрушение бетона при замораживании. При глубоком повреждении бетона тонкостенные конструкции следует заменять. В массивных конструкциях возможно удаление разрушенного слоя и замена его новым морозостойким бетоном. При этом применяется анкеровка нового слоя к старому бетону конструкции дополнительно устанавливаемой арматурой.

Повреждение бетона при капиллярном всасывании растворов солей и испарении происходит при повышенном содержании солей в поглощаемой бетоном воде и характерно для южных районов с жарким климатом и засоленными грунтами, а также в зданиях производств с применением солей. Способы защиты конструкций в этих условиях регламентируются СНиП 2.03.11-85. Эффективным средством защиты является применение гидрофобизирующих добавок. Скорость процесса резко замедляется, если введением комплексных добавок (пластификатор + гидрофобизатор) удастся понизить коэффициент капиллярного всасывания до значения $0,02 \text{ г/см}^2\text{ч}^{0,5}$ и менее.

Ремонт поврежденных конструкций включает удаление разрушенного бетона и замену его новым плотным бетоном. Предпринимаются меры по предупреждению дальнейшего поглощения раствора соли — гидроизоляция, отсекающая поток раствора в конструкцию.

В кислых средах бетон на портландцементе принципиально не стоек. При величине $\text{pH} = 4$ и менее он разрушается. Повышение водонепроницаемости бетона до марки W20 мало повышает его коррозионную стойкость в кислотах. В сульфатных средах коррозионная стойкость бетона сильно повышается при использовании водоредуцирующих и минеральных добавок [4]. Соответствующие сведения имеются в проекте ГОСТ «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Технические условия», работа над которым завершается. Ремонт бетона, поврежденного в кислых и сульфатных средах, состоит в удалении разрушенного слоя и восстановлении конструкции в исходных размерах.

Выбирая материалы для приготовления бетона, следует обратить внимание на качество заполнителя, в том числе на содержание в нем реакционно-способных с щелочами пород и минералов. Заполнители, содержащие эти компоненты, могут вызвать так называемую *внутреннюю коррозию бетона*. Процесс внутренней коррозии состоит в том, что реакционно-способные компоненты заполнителя вступают в химическое взаимодействие с щелочами цемента и химических добавок, образуют на контакте с цементным камнем и в микротрещинах зерен заполнителей вязкий силикатный гель и, создавая внутреннее давление, приводят к растрескиванию бетона. Процесс развивается медленно, но приводит к полной деструкции бетона. Такого рода повреждение бетона наблюдали в различных сооружениях: фундаментных конструкциях, шпалах железнодорожного пути, плотинах гидроэлектростанций и других конструкциях и сооружениях. Особенности процесса описаны в работах [8, 9]. Защита от внутренней коррозии состоит в ограничении содержания щелочей в бетоне, применении минеральных добавок [2, 10]. Разработаны методы испытаний заполнителей на реакционную способность со щелочами [11].

Бетон, подвергшийся внутренней коррозии, практически не поддается восстановлению. Процесс может быть лишь остановлен, если бетон будет высушен и в дальнейшем поддерживаться в сухом состоянии. Предприняты попытки остановить коррозионный процесс пропиткой бетона солями лития [12]. Однако пока технология такой защиты не доведена до применения в строительстве. ●

Н. К. РОЗЕНТАЛЬ, д. т. н., НИИЖБ им. А. А. Гвоздева

Литература

- СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».
- СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии».
- МГСН 2.09-03 «Защита от коррозии бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений».
- Розенталь Н. К. «Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости». — М.: ФГУП ЦПП, 2006 г.
- Алексеев С. Н., Розенталь Н. К. «Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде». — М.: Стройиздат, 1976 г.
- ГОСТ 10060.0 — ГОСТ 10060.2 «Бетоны. Методы определения морозостойкости».
- Усачев И. Н., Розенталь Н. К. «Бетоны стойкие в зоне прилива арктического побережья России». // «Бетон и железобетон», № 5, 2008 г. с.18–22.
- Москвин В. М., Рояк Г. С. «Коррозия бетона при действии щелочей цемента на кремнезем заполнителя». — М.: Госстройиздат, 1962 г.
- Алексеев С. Н., Иванов Ф. М., Модры С., Шисль П. «Долговечность железобетона в агрессивных средах». — М.: Стройиздат, 1990 г.
- Розенталь Н. К. «Защита бетона от внутренней коррозии». // «Столичное качество строительства», №2, 2008, с. 56–59.
- ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».
- Розенталь Н. К., Чехний Г. В., Любарская Г. В., Розенталь А. Н. «Защита бетона на реакционно-способном заполнителе от внутренней коррозии солями лития». // «Строительные материалы» (в печати).