

Concrete structures: repair,
waterproofing and protection

Ф. Перкинс

Железобетонные сооружения.

Ремонт, гидронизоляция и защита



Москва
Стройиздат 1980

Philip H. Perkins

Concrete structures: repair, waterproofing and protection

**CEng, FiMunE, FASCE,
FIArb, FIPHE, MIWES**

Applied science publishers LTD London



Ф. Перкинс

Железобетонные сооружения. Ремонт, гидроизоляция и защита

Пер. с англ. А.В. Швецовой

Под ред. М. Ф. Цитрона

Москва Стройиздат 1980

ББК 38.683

П27

УДК 69.059.2+699.8:624.012.45

Перкинс Ф.

П27 Железобетонные сооружения: Ремонт, гидроизоляция и защита. Пер. с англ./Под ред. М. Ф. Цитрона. — М.: Стройиздат, 1980. — 256 с., ил.

Рассмотрены различные виды повреждений железобетонных конструкций (в том числе в результате пожара) и основные факторы, вызывающие эти повреждения. Приведены сведения о приборах и оборудовании, используемых для исследования повреждений и дефектов конструкций, о механизмах для производства ремонтных работ, материалах для защитных покрытий, применяемых в Великобритании и других зарубежных странах. Предложены наиболее эффективные методы ремонта сооружений, различные варианты герметизации в конструкциях и стыках.

Книга предназначена для инженерно-технических работников.

30205-487
П 047(01)-80

102—80. 3202000000.

ББК 38.683
6С6.8

© Applied Science
Publishers LTD, 1976

© Перевод на русский язык, Стройиздат, 1980

ПРЕДИСЛОВИЕ

Несмотря на то что отдельные железобетонные сооружения были построены в конце XIX и начале XX века, железобетон как конструктивный материал получил широкое распространение лишь после первой мировой войны. Потребности строительства во время второй мировой войны, а также обширные программы строительства и восстановительных работ в послевоенный период привели к тому, что железобетон стал основным материалом для производства несущих конструкций. Сооружения, построенные в 20-е и 30-е годы, уже существуют 40—50 лет, т. е. они появились в период, известный большинству читателей этой книги.

Применение сравнительно нового строительного материала неизбежно выдвигает ранее неизвестные проблемы. При этом возможны и разочарования. Железобетон в этом смысле не является исключением. Чем дольше срок службы первых построенных сооружений, тем в большей степени они нуждаются в ремонте и реконструкции.

Хотя методы разработки архитектурных и конструктивных решений зданий в разных странах весьма различны, принципы их ремонта более универсальны. Поэтому автор книги надеется, что она будет интересна широкому кругу специалистов, которые несут ответственность за эксплуатацию разных типов сооружений с железобетонными конструкциями.

Материалы и рекомендации этой книги отражают точку зрения автора. Однако он в долгу перед своими коллегами из Ассоциации цемента и бетона и сотрудниками ряда ведущих фирм, которые специализируются в вопросах восстановления, защиты и гидроизоляции различных железобетонных сооружений. Всем им автор выражает свою искреннюю благодарность. Автор также признателен Ассоциации цемента и бетона Австралии и Новой Зеландии за помощь в подготовке глав 1 и 3.

Предисловие к русскому изданию

Бетон и железобетон находят все более широкое применение в мировой строительной практике. Опыт эксплуатации сооружений и отдельных конструкций из бетона и железобетона показывает, что наряду с поисками оптимальных проектных решений и методов возведения конструкций надо искать наиболее рациональные приемы и методы их защиты от внешних воздействий, а также способы ремонта. Автор книги приводит примеры повреждений конструкций, анализирует вызвавшие их причины и дает конкретные рекомендации по ремонту. Ф. Перкинс рассматривает причины дефектов и повреждений конструкций с точки зрения влияния таких факторов, как агрессия (газовая и воздушная), высокие и низкие температуры, механические воздействия (истирание и кавитация) и др.

Несомненным преимуществом книги является то, что в ней делается попытка комплексного подхода к проблеме ремонта конструкций и сооружений из бетона и железобетона. Автор рассматривает материалы для ремонта — наиболее оптимальные виды цементов, заполнителей, полимерных, пленочных и других материалов. Большое внимание уделено оценке долговечности и надежности конструкций после ремонта, а также экономичности того или иного вида ремонта.

Наряду с методами ремонта конструкций жилых, общественных и промышленных зданий рассмотрены также методы ремонта специальных железобетонных сооружений — емкостей для воды и промышленных жидкостей, морских сооружений, канализационных труб, колодцев и др. Таким образом, в книге рассмотрен широкий круг вопросов, посвященных возведению, эксплуатации и ремонту бетонных и железобетонных сооружений и конструкций, в связи с чем она несомненно будет полезна работникам, осуществляющим эксплуатацию и ремонт зданий и сооружений.

М. Цитрон, зам. зав. отдела ЦНИИСК им. Кучеренко

ВВЕДЕНИЕ

Существует несколько основных принципов восстановления и ремонта железобетонных сооружений разных конструктивных схем. Цель автора — представить эти принципы в краткой форме, а затем распространить их на различные типы сооружений, рассмотренных в этой книге.

Первые признаки разрушения железобетонных конструкций обычно проявляются в виде тонких трещин и ржавых пятен и могут сопровождаться выкрашиванием бетона. Эти ржавые пятна и выкрашивание вызываются коррозией (ржавлением) арматуры, образование же трещин может быть обусловлено другими факторами.

Разрушению подвергаются и морские сооружения, если не считать механических повреждений бетона в результате прямого или косвенного воздействия волн. В некоторых сооружениях возможно химическое воздействие на бетон, что в особых случаях приводит к быстрому его разрушению.

Ржавые пятна и выкрашивание бетона в связи с коррозией арматуры наблюдаются задолго до разрушения арматуры. Это связано с тем, что продукты коррозии (в основном окислы железа) занимают значительно больший объем, чем первоначальный стальной элемент. Разбухание, сопровождающее образование продуктов коррозии, приводит к возникновению трещин и выкрашиванию защитного слоя бетона. Это означает, что если процесс контролируется, то можно обнаружить повреждения на начальной стадии их развития задолго до того, как разрушение материалов приведет к потере прочности и устойчивости сооружения.

Первый шаг, который необходимо предпринять при обследовании железобетонных конструкций, требующих ремонта, заключается в установлении причины разрушения. Опыт автора свидетельствует, что в подавляющем большинстве случаев не существует опасности быстрого обрушения. Более того, маловероятно, что обрушение произойдет вообще, если, конечно, необходимый ремонт был выполнен своевременно.

Наиболее распространенными причинами разрушения являются недостаточная толщина защитного слоя арматуры, низкое качество бетона, незаделанные трещины от теплового воздействия или усадки бетона. Эти дефекты усугубляются в некоторых случаях содержащимися в бетоне хлоридами кальция, ионы которого способствуют коррозии арматуры. Хлориды в бетоне могут в определенных условиях значительно снизить долговечность отремонтированных конструкций.

В данной монографии под термином «железобетонные конструкции» подразумеваются конструкции из бетона на портландцементе. В некоторых случаях для ремонтных работ рекомендуется глиноземный цемент, и это может вызвать некоторое недоумение в связи с тем, что он не удовлетворяет требованиям современных нормативных документов по строительству. Кроме того, все ссылки на этот тип цемента (НАС) исключены из сборника материалов Научно-исследовательского центра по строительству № 174 «Бетон в условиях сульфатосодержащих грунтов и грунтовых вод».

Автор считает, однако, что применение глиноземистого цемента при выполнении определенных ремонтных работ может дать вполне удовлетворительные результаты. Он также ставит вопрос, не были ли слишком поспешными все выводы относительно глиноземистых цементов в нормативных документах по строительству и официальных публикациях. Автор выражает надежду, что в результате проводимых сейчас экспериментальных и научно-исследовательских работ запрет на использование этого вида цемента будет снят.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Выбор материалов, которые можно эффективно использовать для качественного ремонта железобетонных сооружений, довольно ограничен. Наиболее часто применяются бетон и раствор, изготовленные из тех же цементов и заполнителей, что и подлежащая ремонту конструкция. В случае разрушения бетона при химическом воздействии может возникнуть необходимость в применении другого типа цемента или защитного покрытия.

Разрушение части сооружения после ремонта происходит, как правило, вследствие полной или частичной потери сцепления между старым и новым бетоном. Прочность такого сцепления непосредственно связана с качеством подготовки бетонной поверхности основной конструкции. За последнее время много внимания было уделено разработке вяжущих материалов.

Подавляющее большинство бетонных сооружений, требующих ремонта, имеет арматуру, и коррозия стали играет весьма существенную роль в разупрочнении этих сооружений. При коррозии черных металлов продукты коррозии занимают больший объем, чем сам исходный металл. Образование продуктов коррозии приводит к расслоению части примыкающего к арматуре бетона.

Защитные свойства бетона по отношению к стали имеют большое значение для долговечности арматуры и сооружения в целом. Качественные бетон и раствор на портландцементе могут обеспечить постоянную защиту стали благодаря щелочной среде, создаваемой цементным тестом. Эта важная проблема подробно рассматривается в главе 2. Существенное значение имеет выбор материалов для замены поврежденного и расслоившегося бетона и восстановления прочного защитного слоя.

1.1. ТИПЫ ЦЕМЕНТА

В данной книге все цементы делятся на портландцементы и непортландцементы. В строительной промышленности Великобритании портландцемент потребляется в значительно больших количествах, чем все другие типы. В 1973 г. на эти цели было затрачено примерно 20 млн. т.

1.1.1. Обыкновенный и быстротвердеющий портландцемент

В Великобритании эти два типа цемента включены в Британский стандарт BS 12. Они составляют большую часть всех портландцементов, применяемых для ремонта бетонных конст-

рукций, причем преобладает ~~применение~~ обыкновенного портландцемента.

Основное различие между этими двумя типами цемента — скорость нарастания прочности. У быстротвердеющего портландцемента скорость возрастает в основном вследствие увеличения тонкости помола; как правило, его удельная поверхность равна примерно $4300 \text{ см}^2/\text{г}$. Быстрое твердение сопровождается увеличением скорости тепловыделения при гидратации, что, в свою очередь, повышает температуру твердеющего бетона в течение первых 15—40 ч после укладки. Однако скорость твердения и выделения тепла при гидратации зависит не только от тонкости помола, но и от химического состава цемента.

1.1.2. Сульфатостойкий портландцемент

Соответствующий Британский стандарт — BS 4027. По прочности и другим физическим свойствам сульфатостойкий портландцемент аналогичен обыкновенному портландцементу. Однако по цвету он темнее, чем большинство обыкновенных и быстротвердеющих портландцементов. Существенным различием является ограничение содержания (максимум до 3%) трехкальциевого алюмината (C_3A).

Именно трехкальциевый алюминат в портландцементе подвергается воздействию сульфатов в растворе. Эта химическая реакция приводит к образованию этtringита, который оказывает разрушительное воздействие на бетон, вызывая изменение объема и снижение прочности. При использовании добавок с этим типом цемента рекомендуется обращаться к фирме-изготовителю. Никогда не следует применять хлорид кальция, так как сопротивление сульфатной агрессии со временем будет уменьшаться. Сульфатостойкий портландцемент, как и все портландцементы, подвергается воздействию кислот.

1.1.3. Белый и цветные портландцементы

Белый портландцемент — это портландцемент, отвечающий требованиям BS 12 «Портландцемент, обыкновенный и быстротвердеющий». Особенностью этого цемента является то, что в качестве сырья для него выбирается только белая фарфоровая глина при минимальном содержании марганца и железа.

Цветные портландцементы (кроме белого и пастельных тонов), как правило, состоят из обыкновенного портландцемента и добавляемого на заводе пигмента. Применяемые пигменты регламентированы стандартом BS 1014 «Пигменты для цемента и бетона», цветные портландцементы — стандартом BS 12. Такие цементы следует применять лишь в тех случаях, когда желательно получить такой же цвет, что и у конструкции. Однако наилучшие результаты будут получены при подборе пиг-

ментов в пробных смесях, так как цвет изменяется во времени и под действием эрозии.

Иногда возникает вопрос о необходимости увеличения содержания цемента в бетонной смеси или растворе в связи с наличием в цементе пигментов. На этот вопрос нельзя ответить однозначно. Когда необходимо обеспечить долговечность и непроницаемость, по мнению автора, следует увеличивать установленное количество цемента в зависимости от содержания пигмента. Если основной параметр — прочность, то единственно правильным решением будет изготовление пробных смесей, так как прочность обыкновенного портландцемента в определенных пределах изменяется.

1.4.4. Сверхбыстротвердеющий портландцемент

Этот вид портландцемента появился в Великобритании несколько лет назад под фирменным названием «свифткрит». В период написания книги, т. е. в 1976 г., этот цемент еще не был включен в Британский стандарт, но был опубликован Сертификат о качестве № 73/170. Фирмы-изготовители определяют его как портландцемент исключительно тонкого помола и с большим, чем у обыкновенного портландцемента, содержанием гипса; в остальном он отвечает требованиям стандарта BS 12. Сверхбыстротвердеющий портландцемент не содержит никаких других добавок. Удельная поверхность этого цемента — от 7000 до 9000 см²/г по сравнению с удельной поверхностью 3400 см²/г среднего обыкновенного портландцемента и 4300 см²/г среднего быстротвердеющего портландцемента.

Эксперименты, проведенные по заданию Научно-технического совета по выдаче сертификатов о качестве, подтвердили, что цемент «свифткрит» через 24 ч набирает такую же прочность, как и аналогичная бетонная смесь на быстротвердеющем портландцементе за 7 сут. В Сертификате о качестве содержится ряд правил по применению этого цемента и приводится таблица с подробным сравнением цемента «свифткрит» с обыкновенным и быстротвердеющим портландцементами.

Сверхбыстротвердеющий портландцемент примерно на 50—60% дороже обыкновенного, но это не имеет существенного значения в тех случаях, когда требуется получить бетон весьма высокой прочности в раннем возрасте.

1.1.5. Глиноземистый цемент

В период подготовки данной книги в Великобритании возникло много разногласий относительно возможности применения для строительных конструкций бетона на глиноземистом цементе. К сожалению, это было вызвано разрушением двух балок покрытия в здании школы. Поскольку в британской прессе и даже в некоторых технических журналах появилось мно-

го недостоверной информации, автор считает целесообразным представить краткую и объективную оценку основных характеристик бетона на глиноземистом цементе и показать, в чем его существенное отличие от бетона на портландцементе.

Глиноземистый цемент включен в Британский стандарт BS 915. Примерно 60% мировых поставок этого цемента (за исключением СССР) производит фирма «Лафарг Фонду Интернешнл». Около 90% этого количества применяется в жароупорных бетонах, где высокая конструктивная прочность обязательна.

Глиноземистый цемент существенно отличается от портландцемента по своему химическому составу — он в основном состоит из алюминатов кальция. Этот вид цемента гораздо темнее (темно-серый), чем обыкновенный и быстротвердеющий портландцементы. Светлые глиноземистые цементы и темные оттенки сульфатостойкого портландцемента почти одинаковы по цвету. Глиноземистый цемент схватывается и набирает прочность при смешивании с водой и при нормальной температуре имеет такой же срок схватывания, как и обыкновенный портландцемент. Однако при повышении температуры окружающей среды в обычных климатических условиях Великобритании срок схватывания глиноземистого цемента увеличивается, тогда как у портландцемента уменьшается. Следует, однако, помнить, что в странах с более теплым климатом при температуре выше 30°C срок схватывания сокращается. Схватывание происходит быстрее, а в особых случаях наблюдается даже «мгновенное» схватывание. С другой стороны, глиноземистый цемент очень быстро набирает прочность и через 24 ч она обычно составляет 80% расчетной, в то время как портландцемент достигает 80—85% прочности только через 28 сут.

Быстрое увеличение прочности сопровождается интенсивным выделением теплоты гидратации. В этом есть свои преимущества и недостатки. Быстрая экзотермия особенно благоприятна при работе в условиях низких температур. Она также дает возможность осуществлять аварийный ремонт и другие аналогичные работы в короткий срок. Во избежание преждевременного высыхания поверхности бетон следует выдерживать во влажных условиях, а в целях быстрого рассеяния тепла укладывать относительно тонкими слоями. Рекомендуются ограничивать толщину слоя 500 мм. Практически это означает, что стена толщиной 1 м может возводиться непрерывно без всяких горизонтальных швов (как при использовании бетона на портландцементе). Однако в некоторых случаях (например, в фундаментах под печи) возникает необходимость укладывать большие объемы бетона на глиноземистом цементе. Чтобы уменьшить термическое растрескивание, в массив фундамента укладывают специальную сетчатую арматуру, а также трубы, по которым пропускают очень холодную воду.

Правильно подобранный, уложенный и выдержанный бетон на глиноземистом цементе обладает большей, чем у бетона на портландцементе, устойчивостью к действию многих химических веществ, включая сульфаты, сахара, растительные масла и некоторые слабые кислоты, в том числе молочную. Глиноземистый цемент не входит в категорию химически стойких цемента.

Такие вещества, как хлориды и слабые едкие и неедкие щелочи, оказывающие на бетон на портландцементе лишь незначительное воздействие, разрушают бетон на глиноземистом цементе.

Для обеспечения долговечности и максимальной стойкости против химической агрессии следует предъявлять те же требования, что и к бетону на портландцементе. Это высокое содержание цемента (не менее 400 кг/м^3), низкое водоцементное отношение (не более 0,4), тщательное уплотнение и выдерживание во влажных условиях. Соблюдение этих правил позволяет получить плотный непроницаемый бетон, что весьма существенно для обеспечения долговечности. Долговечность бетона на глиноземистом цементе в морской воде рассмотрена в главе 5. Глиноземистый цемент требует более крупного, чем обыкновенный портландцемент, помола (его удельная поверхность около $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ по сравнению с $3500 \text{ см}^2/\text{г}$ среднего обыкновенного портландцемента). Это обстоятельство совместно с другими физическими характеристиками частиц цемента дает возможность готовить удобоукладываемые смеси с более низкими водоцементными отношениями, чем у смесей на портландцементе с такой же удобоукладываемостью.

В связи с этим уместно остановиться на наиболее противоречивом свойстве глиноземистого цемента, а именно — на «перекристаллизации». По этому поводу было опубликовано немало работ, и суть этого явления можно кратко свести к следующему: гидраты, вызывающие быстрое нарастание прочности глиноземистого цемента, метастабильны и переходят в более плотную и устойчивую форму. Неопубликованная работа Ширли, сообщение Френча и его коллег в журнале «Бетон» (август 1971, с. 3—8) и доклад д-ра Джорджа в 1975 г. свидетельствуют о том, что явление перекристаллизации можно учитывать относительно простым способом в процессе проектирования бетонной смеси. Короче говоря, степень воздействия перекристаллизации зависит преимущественно от ее скорости, а скорость, в свою очередь, от температуры в период твердения бетона и температуры окружающей среды во время его эксплуатации. Исходное водоцементное отношение (B/C) определяет в основном прочность бетона после перекристаллизации. Есть основания полагать, что перекристаллизация не имеет большого практического значения при условии, что бетонная смесь была запроектирована с учетом тщательного уп-

лотнения и с водоцементным отношением, соответствующим максимальной температуре во время срока службы конструкции. К сожалению, приемлемая формула, включающая водоцементное отношение и температуру и соотносящая их с минимальной прочностью, не установлена. Более всего учитывались эти зависимости в статье, опубликованной в журнале «Нью Сивил Инджиниер» (21 марта 1974 г., с. 40 и 43) и в публикации д-ра Джорджа из «Лафарг Фонду Интернешнл».

Глиноземистый цемент следует применять:

а) для ремонта конструкций, бетон которых изготовлен на глиноземистом цементе;

б) при необходимости срочного ремонта бетонных полов на портландцементе;

в) для ремонта полов в неотапливаемых складах;

г) при восстановлении и ремонте морских сооружений;

д) при торкретировании или оштукатуривании в тех случаях, когда требуется большая по сравнению с портландцементом жаростойкость или химическая стойкость.

Было проведено много исследований, направленных на разработку относительно быстрого, простого и надежного метода натуральных испытаний, при помощи которого можно было бы обнаружить глиноземистый цемент в бетонном элементе. Больших успехов в этом добилась Научно-исследовательская строительная станция. Ниже приведен отрывок из ее информационного листка TS 15/74, опубликованного в октябре 1974 г.: «Испытание включает экстрагирование 1 г образца порошкообразного бетона десятью миллилитрами 0,1 н. раствора NaOH, и после фильтрования обработку экстракта «оксином» (8-оксихинолином) при соответствующих условиях. Обильное образование желтого осадка указывает на наличие в бетоне глиноземистого цемента.

Желтый осадок указывает на то, что в бетоне содержится значительное количество алюминия. При проведении испытания с бетонами на портландцементе раствор остается довольно прозрачным или слегка мутнеет».

1.1.6. Цементы, устойчивые к химической агрессии

Эти виды цемента используют лишь в тех случаях, когда требуется очень небольшое количество бетона, но их широко применяют в растворах при устройстве и ремонте облицовки из кирпича, устойчивого к химической агрессии. Их используют и при облицовке резервуаров для очень агрессивных жидкостей.

Двумя основными типами таких цемента являются полимерцементы и силикатные цементы; некоторые сорта последнего — жаростойкие. В настоящее время можно получать це-

менты, устойчивые к агрессивному воздействию большинства распространенных химических веществ, за исключением фтористоводородной кислоты концентрацией выше 40%.

Эти цементы обычно состоят из порошка и жидкости для затворения (называемой иногда сиропом), которые смешивают в определенных пропорциях.

1.2. СРАВНЕНИЕ БРИТАНСКИХ И АМЕРИКАНСКИХ ЦЕМЕНТОВ

В связи с участием в международных подрядах консультантов и подрядчиков как из Великобритании, так и из США целесообразно привести некоторые общие сведения о портландцементе этих двух стран.

Непосредственное сравнение стандартных спецификаций обеих стран может ввести в заблуждение, ибо требования и методы испытаний различны. Однако с помощью табл. 1.1 можно провести приблизительные сопоставления.

ТАБЛИЦА 1.1. ОБОЗНАЧЕНИЕ ТИПА ЦЕМЕНТА В СТАНДАРТАХ ASTM И БРИТАНСКОМ

Тип цемента	Документ ASTM	Британский стандарт
Обыкновенный портландцемент	C-150-67, тип I	BS 12:1958
Сульфатостойкий низкотермичный	C-150-67, тип II	Не имеется
Быстротвердеющий	C-150-67, тип III	BS 12:1958
Низкотермичный	C-150-67, тип IV	BS 1370:1958
Сульфатостойкий	C-150-67, тип V	BS 4027:1966
Воздухововлекающий (разный)	C-175-67, типы IA, IIA, IIIA	Не имеется

1.3. СТАЛЬНАЯ АРМАТУРА

Стальная арматура для бетона, включая преднапряженный, регламентируется семью британскими стандартами.

Существует три типа арматурной стали для обычного железобетона: гладкие горячекатаные стержни из малоуглеродистой стали (BS 4449); холоднокатаные стальные стержни (BS 4461); стальная сетка (BS 4483).

Высокопрочная стальная арматура выпускается нескольких видов: холоднокатаные витые стержни, на которых ясно видны витки, холоднокатаные ребристые стержни и горячекатаные фасонные.

1.3.1. Оцинкованная арматура

В период написания книги (1976 г.) не было специального Британского стандарта ни на оцинкованную стальную арматуру, ни на оцинкованную преднапрягаемую проволоку, хотя

то и другое в небольшом количестве применяется в Великобритании и в большей степени в США. Сторонники более широкого использования оцинкованной арматуры исходят из того, что надежность и долговечность железобетонных конструкций определяются даже незначительными повреждениями в течение срока службы. Поэтому любые практические мероприятия, направленные для увеличения долговечности, весьма желательны. Всем известно, что сталь корродирует быстрее, чем бетон. С другой стороны, необходимо сохранять чувство меры и помнить о том, что арматура не подвергается коррозии только в тех случаях, когда сталь защищена достаточным по толщине слоем плотного бетона. Но если внешние условия являются исключительно агрессивными, то их воздействию в первую очередь подвергается сам бетон. Может также произойти механическое повреждение бетона с обнажением стали.

Однако иногда возникают такие обстоятельства, при которых применение оцинкованной арматуры и напрягающей проволоки оправдано. О некоторых из этих обстоятельств упоминается позднее в этой книге.

Дальнейшая информация о применении и свойствах оцинкованной арматуры приведена в главе 2. Цинкование заключается в покрытии стали слоем цинка. Оно выполняется погружением стали в ванны с расплавленным цинком или электролитическим осаждением цинка из раствора.

1.3.2. Нержавеющая сталь

Существует три основных класса нержавеющей стали: мартенситная, ферритная и аустенитная. В строительстве и технике наиболее широко применяют аустенитную сталь — сплав железа, хрома и никеля, а два вида сталей этого класса содержат также небольшой процент молибдена. Более всего отвечает требованиям внешних ремонтных работ сталь марки Еп 58I (известная также как сталь 316). Ее состав—18% хрома, 10% никеля и 3% молибдена. Она очень устойчива против коррозии, но по сравнению с малоуглеродистой дорога. Сталь легко поддается сварке. Однако она может быть немагнитной или магнитной лишь в очень незначительной степени, поэтому обнаружить ее обычным измерителем защитного слоя (ИЗС) почти невозможно. Еще одна трудность заключается в том, что малоуглеродистая сталь при соприкосновении с нержавеющей сталью может подвергаться ускоренной коррозии, т. е. служить анодом по отношению к нержавеющей стали. По этим вопросам рекомендуется обращаться к одной из специализированных фирм.

Применение нержавеющей стали оправдано лишь в исключительных случаях, когда нет уверенности в том, что обычная

защита является достаточно эффективной. В ремонтных работах нержавеющей сталь, по-видимому, следует применять для изготовления штифтов, крепежных деталей, анкеров, а также арматурных сеток для относительно небольших участков, восстанавливаемых при помощи раствора. Стоимость нержавеющей стали в 8 раз выше стоимости малоуглеродистой.

1.4. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ

В ремонтных работах цветные металлы применяют ограниченно.

1.4.1. Алюминий

Если неанодированный алюминий используется в непосредственном контакте с влажным бетоном, то металл следует покрывать толстым слоем битумного лака или другим материалом, на который не действуют едкие щелочи цемента.

Анодирование увеличивает долговечность, сопротивление коррозии и улучшает внешний вид алюминия. Анодирование — это процесс нанесения на металл толстого покрытия из металлического окисла, состоящего из отдельных слоев. Окислы могут быть окрашены при помощи пигментов. Окись алюминия инертна и относительно непроницаема, особенно в случае погружения поверхности в горячую воду, содержащую хроматы.

Алюминий обычно служит анодом по отношению к стали, но некоторые его сплавы — катодом. Поэтому нужно принимать определенные меры в случае контакта этих двух металлов.

1.4.2. Медь

При строительстве зданий, водопроводных и канализационных сооружений медь, как правило, устойчива против агрессивного воздействия. Она не подвергается коррозии под действием бетона на портландцементе, если в нем нет хлоридов. Медь является катодом по отношению к стали, и если эти два металла соприкасаются при наличии влаги, то возможна коррозия стали.

1.4.3. Фосфористая и пушечная бронза

Бронза — это сплав меди и олова. Фосфористая бронза содержит фосфор в виде фосфида меди. Она устойчива в средах, в которых корродируют черные металлы. Это же относится и к пушечной бронзе, которая представляет собой бронзу примерно с 9%-ным содержанием олова.

1.5. ЗАПОЛНИТЕЛИ

Считают, что заполнители в бетоне и растворе не играют такой важной роли при ремонтных работах, как при возведении новых сооружений. Однако целесообразно отметить некоторые общие положения в связи с тем, что низкое качест-

во заполнителей, распространенных в некоторых районах, может способствовать разрушению бетона. В Великобритании заполнители, полученные из естественных источников, такие, как гравий, карьерный несортированный песок, карьерный камень и морской материал, должны отвечать требованиям стандарта BS 882 «Заполнители для бетона из естественных источников». Испытания заполнителей регламентированы стандартом BS 812 «Методы взятия образцов и испытания минеральных заполнителей, песка и минеральных порошков». Важно отметить, что Британский стандарт 882 содержит следующий пункт: «Нельзя проводить никаких упрощенных испытаний на долговечность и морозостойкость бетона или коррозию арматуры; только знание свойств бетона на данном заполнителе, сведения о его месторождении являются единственно надежным средством оценки...».

Повышенная усадка естественных заполнителей может вызвать серьезные трудности. В Великобритании это свойство присуще лишь некоторым заполнителям, находящимся в Шотландии, но в других странах оно является важным фактором при выборе месторождения заполнителя. Эта характеристика подробно рассматривается в сборнике материалов Научно-исследовательского центра по строительству № 35 «Усадка естественных заполнителей в бетоне». Реакция заполнителя со щелочью — еще одна проблема, о которой не следует забывать при работе с заполнителями из ранее неизвестного или непроверенного источника сырья. Эта очень сложная проблема выходит за рамки данной монографии.

В каждом отдельном случае могут иметь значение такие факторы, как источник и особенности классификации; форма частиц и текстура поверхности; гранулометрический состав (ситовый анализ), включая содержание глины, ила и пыли; органические примеси; содержание солей, особенно в мелком заполнителе, в частности хлоридов и сульфатов; механические свойства; показатель чешуйчатости; содержание ракушек (это относится в основном к морским заполнителям).

В Великобритании усиливается тенденция с осторожностью относиться к любой значительной концентрации хлоридов в железобетоне. В период написания книги Строительными нормами CP 110 «Применение бетона в несущих конструкциях» допускалось максимальное содержание в железобетоне безводного хлорида кальция не более 1,5% массы цемента. На преднапряженный бетон в этом смысле налагался запрет. Однако были предприняты действия, направленные на пересмотр норм, в результате которых можно было бы эффективно получать свободный от хлоридов бетон. Практически это означало бы такую же концентрацию ионов хлорида, которая характерна для обычной питьевой воды. Использование морской воды при производстве бетона рассмотрено в главе 2.