

УДК 699.822

*Божок В.А., дипл.-инженер, руководитель направления
Protection Technologies
ООО "МЦ-Баухеми",
07541, Киевская обл., г. Березань, ул. Маяковского, 38
+38(067) 4-062-043, valerii.bozhok@mc-bauchemie.ua*

ИНЪЕЦИРОВАНИЕ ТРЕЩИН И ПУСТОТ В БЕТОНЕ

В статье рассмотрены причины образования трещин и пустот в бетоне. Указаны необходимые параметры для принятия решения по проведению инъекционных работ и методы их определения. Описаны типы необходимого инъекционного оборудования, а также рассмотрены принципы расположения пакеров. Отдельное внимание уделено выбору инъекционного материала: эластомеры, дурупласты, минеральные суспензии и гидроструктурные смолы.

Ключевые слова: трещины, гидроизоляция, инъектирование, пакер, эластомеры, дурупласты, минеральные суспензии, гидроструктурные смолы.

Высокая прочность, хорошая формуемость и экономичность делают бетон преобладающим материалом для строительства сооружений, требующих особой функциональности. При этом необходимо, однако, учитывать одну особенность этого универсального строительного материала – бетон может трескаться. Поскольку крайне трудно учитывать на стадии проектирования такие специфические факторы укладки бетона, как выход теплоты гидратации и внешние температурные воздействия, полностью избежать появления трещин не удаётся. Трещины могут возникнуть при любом возрасте бетона. Пустоты же, напротив, «закладываются» в процессе бетонирования. Они являются прямым следствием технологических ошибок.

В практике строительства частичное инъектирование трещин и пустот относится к сфере бетонного строительства. Успешное применение систем инъектирования требует знания основ строительного материаловедения и инъекционных технологий.

Трещины в бетоне

Рентабельное изготовление элемента бетонной конструкции, совершенно не имеющего трещин, невозможно. Нагрузки, которые будет испытывать строительное сооружение со стороны внешних факторов или под воздействием собственного веса, нельзя полностью учесть на этапе проектирования. На практике речь идёт не о недопущении трещин, а об ограничении ширины их раскрытия безопасными пределами. Слабыми местами однородной структуры бетона являются, например, рабочие швы, благоприятствующие растрескиванию бетона.

Микротрещины, поверхностные или сквозные трещины оказывают различное влияние на свойства бетона. Для восстановления предусмотренных проектом свойств бетона трещины, превышающие допустимую величину, должны быть закрыты. Обычно допустимой шириной трещины считается 0,3 мм, а для строительных сооружений, подвергающихся повышенным эксплуатационным нагрузкам, 0,2 мм и менее.

Пустоты в бетоне

Пустотами называют дефекты структуры строительного материала, возникающие в процессе его укладки. Они, в частности, объясняются некачественным составом бетона, большой высотой падения свежей бетонной смеси, недостаточным уплотнением или сходными причинами. На рисунке 1 показана связь между захватками бетонирования и образованными гравийными гнёздами. Форма заполнителя в бетонной смеси повлияла на её плохую уплотняемость.



Рисунок 1: Пустоты и скопления крупной фракции в секции бетонирования стенки туннеля

Неоднородные участки бетона могут также концентрироваться на поверхностях, граничащих с арматурой. Потеря связи между арматурой и бетоном может наступать вследствие плотно уложенной арматуры, вибрации арматуры при уплотнении бетона, усадки свежей бетонной смеси и других подобных причин.

Технологически обусловленные пустоты имеют, как правило, пространственно ограниченный характер. Увеличение их размеров позволяет воде распространяться по более широкому фронту, что визуально сопровождается намоканием поверхностей соответствующего размера.

Проведение учёта трещин и пустот

Для герметизации водопроницаемых трещин и пустот методом инъектирования требуется использование систем инъектирования на полную мощность. Планирование и выполнение ремонтно-восстановительных работ должно осуществляться наиболее подходящим методом, с учётом особенностей каждой конкретной ситуации. Для планирования процесса инъектирования конкретного объекта требуется установить цель, вид заполнения, давление инъектирования, расположение пакеров, количество заполняющего вещества и влияние на окружающую среду.

Для оценки проницаемости бетонных конструкций, обусловленной наличием трещин, важно знать, наряду с причинами возникновения трещин, определённые их характеристики. К таковым относятся:

- ширина трещины
- глубина (разновидность) трещины
- геометрия трещины
- изменение ширины трещины (кратковременное, долговременное)
- состояние трещины (особенно влажность)
- ранее принятые меры
- доступность.

Некоторые характеристики трещин можно установить визуально.

Определение местонахождения пустот начинается с визуального осмотра бетонной поверхности. Более глубокие исследования проводятся только в случае наличия характерных признаков, например, при выступании влаги на бетонной поверхности. Заключение о наличии нарушений структуры может быть сделано после забора пробы (керн) и её экспертизы в лабораторных условиях. Однако, даже в таком случае достоверность результатов остаётся ограниченной местом забора пробы. Забор же дополнительных проб для оценки масштаба нарушений структуры бетона и определения, при необходимости, прочности на сжатие нежелателен вследствие их разрушающего действия. Здесь следует ограничиться репрезентативной выборкой. В качестве альтернативы или дополнения можно проводить эндоскопические исследования через более маленькие просверленные отверстия. Из известных неразрушающих методов испытаний можно назвать радиолокационный и ультразвуковой методы.

При обнаружении пустот необходимо установить следующие характеристики:

- положение и размер
- возможность введения заполняющего материала
- состояние (в первую очередь, влажность)
- принятые меры.

Вид и объём исследований регулируются целями заполнения. Бетон с большим количеством пустот можно инъецировать, только если пустоты обнаруживают большую степень проницаемости. Проницаемость важна для инъецирования, особенно для процесса распространения материала в строительном элементе.

Инъецирование трещин через пакеры

Под методами инъецирования подразумеваются, как известно, методы, в ходе которых инъекционный материал подаётся под давлением в строительный элемент. Различают инъецирование низким давлением (до 10 бар) и инъецирование высоким давлением (до нескольких сотен бар). При инъецировании в целях защиты от проникновения воды требуется, как правило, высокое давление инъецирования. При этом величина давления не должна превышать прочность бетона на растяжение, для того чтобы избежать повреждения структуры бетона. Считается, что лучшие результаты заполнения пустот достигаются при более длительном времени инъецирования низким давлением.

В качестве приборов для инъецирования высоким давлением используются поршневые или мембранные насосы. Они работают либо по однокомпонентному, либо по двухкомпонентному принципу. Перед инъецированием 1-компонентным насосом компоненты материала смешиваются предварительно, а затем закачиваются насосом в течение времени жизнеспособности. В 2-компонентном насосе отдельные компоненты материала подаются отдельно, смешивание их происходит непосредственно перед выходом в форсунке инъекционного насоса.



Рисунок 2: *Расположение буровых пакеров*

Ввод материала в трещину или строительную конструкцию и подключение инъекционного насоса осуществляется при помощи клеевых или буровых пакеров. Клеевые пакера приклеиваются на трещину вместе с нанесением запечатывающего материала. Решающее значение имеет клеевое соединение между пакером и строительным элементом. Это соединение зависит от прочности сцепления при растяжении бетона, а также от свойств клеящего вещества. Приклеенный пакер выдерживает давление инъецирования от 50 до 60 бар. В

соответствии с характером распространения материала в трещине клеевые пакера устанавливаются вдоль трещины с шагом, равным толщине конструкции.

Буровые пакеры закрепляются в просверленных шпурах механическим способом. Пробуренные шпуры служат также в качестве каналов инъецирования, пересекающих инъецируемую трещину. Если шпуры направлены к трещине под углом 45° , а их отступ от трещины соответствует половине её глубины, то можно с достаточной долей вероятности предположить, что они пересекут трещину где-то на половине её глубины. Шаг шпуров между собой должен также соответствовать половине глубины трещины. Расположение пакеров в шахматном порядке позволяет осуществлять инъецирование ответвляющихся трещин (рисунок 2).

Как показывает опыт, вышеуказанные принципы действительны при толщине строительного элемента до 60 см. При увеличивающейся ширине трещины возможна бóльшая глубина проникновения.

Чаще всего используются буровые пакеры, которые прочно и герметично фиксируются в шпурах, благодаря резиновому уплотнителю. Данный вид пакеров обеспечивает, даже при высоком давлении инъецирования, достаточную функциональную надёжность. Ещё одной разновидностью вставляемых в шпуры пакеров являются забивные пакеры. Как видно из их названия, забивные пакеры забиваются в шпуры. Такие пакеры фиксируются в шпурах благодаря деформации при забивании и сопротивлению трения.

Наружное «запечатывание» трещин требуется, если существует опасность вытекания материала из конструкции. При использовании клеевых пакеров необходимо всегда «запечатывать» трещины.

Процесс инъектирования состоит из основного и последующего инъектирования в пределах времени жизнеспособности материала. Последующее инъектирование необходимо, для того чтобы восполнить количество материала, ушедшего в капилляры и вытекшего наружу. Поскольку при инъектировании под напором воды незатвердевший материал может вымываться, необходимо быстрое затвердевание, возможно, в комбинации с мерами по снижению напора. Такого рода мерой может выступать, например, предварительное инъектирование быстро вспенивающимися полимерами при герметизации эластомерами.

Инъектирование пустот через пакеры

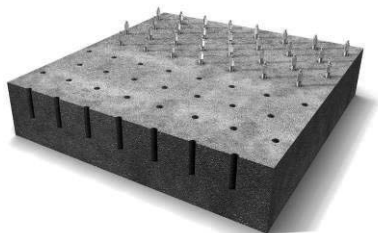


Рисунок 3. Растровое расположение пакеров

Пустоты инъектируются через буровые и забивные пакеры. Их расположение на плоскости осуществляется в виде растровой сетки, размещённой над местом повреждения (рисунок 3). Необходимая глубина шпуров устанавливается в зависимости от характера повреждения, а иногда подбирается на месте. Давление в ходе инъектирования пустот должно ограничиваться строже, чем при инъектировании трещин, чтобы не допустить избыточного давления материала внутри строительного элемента.

При использовании реактивных полимеров необходимо проверить влияние инъекционного материала на коэффициент жёсткости строительного элемента. Для инъектирования пустот используются те же инъекционные материалы, оборудование для инъектирования и их комплектующие, что и для инъектирования трещин.

Выбор материала для инъектирования

В качестве материалов для инъектирования используются материалы полимеризационного и гидравлического отверждения. Выбор материала для инъектирования осуществляется в зависимости от его механических свойств в рабочем диапазоне температур. Если инъекционные материалы на минеральной основе, имеющие в качестве вяжущего цемент, проявляют сходные с бетоном свойства, то полимерные материалы обнаруживают сильно зависящие от температуры механические характеристики (дуропласты, эластомеры).

Различные инъекционные материалы по-разному реагируют с водой в процессе отверждения. Влажностное состояние бетона является по этой причине важным краевым условием. Влажностные состояния подразделяются на: сухое, влажное и водоносное, причём водоносное состояние различается по интенсивности протекания повреждённого участка.

„Сухими“ называют трещины и пустоты, в которых не обнаружено воздействия воды. Определение „влажные“ относится к трещинам и пустотам, в районе которых наблюдается изменение окраски поверхности, обусловленное влагой, но нет следов выступающей воды („водоносное безнапорное состояние“). Если на поверхности имеются капли, это указывает на просачивание воды. Просачивание воды сквозь замкнутую плёнку является, как и вытекающая струёй вода, признаком протекания под напором („водоносное состояние под напором“).

Исключительное практическое значение для инъектирования имеет вязкость смеси заполняющего материала. Она в значительной мере определяет её границы использования. Инъекционные материалы на полимерной основе (реактивные полимеры) позволяют инъектировать трещины шириной от 0,1 мм. Применение минеральных суспензий, состоящих из мелких частичек, ограничивается инъектированием широких трещин. Структура суспензий не позволяет им полностью, до корня заполнять трещины, в результате чего не может быть гарантирована надёжная гидроизоляция.

Эластомеры

Самый широкий спектр задач гидроизоляции выполняется при помощи эластичных инъекционных материалов на полиуретановой основе. При помощи эластомеров на полиуретановой основе (PUR) возможно проведение гидроизоляции трещин или пустот, вне зависимости от их влажностного состояния, поскольку они не содержат растворителей, имеют низкую вязкость, эластичны и образуют поры.

Для гидроизолирующего инъецирования трещин с непостоянной шириной могут использоваться эластичные материалы с вязкостью около 100 мПа·с. Полимеры с более высокой вязкостью требуют при такой же ширине трещин более высокого, не при всех условиях возможного давления инъецирования. При помощи систем с особо низкой вязкостью можно прокачивать трещины шириной от 0,1 мм.

Для временного уменьшения притока воды под напором допускается предварительное инъецирование быстровспенивающимися полимерами на той же основе (SPUR). Эти полимеры при контакте с водой очень быстро увеличивают свой объём и образуют мелкоячеистую пену с открытыми порами. Из-за открытой структуры ячеек гидроизоляция пенообразующими полимерами носит временный характер. Затем для достижения длительного эффекта всегда должно проводиться инъецирование эластомерами с закрытыми ячейками.

Использование вспенивающихся полимеров должно ограничиваться случаями крайней необходимости и носить частичный характер. Хотя вспенивающиеся эластомеры реагируют очень быстро, им требуется от нескольких секунд до нескольких минут для того, чтобы смешаться и вступить в реакцию с водой. При правильном применении вспенивающихся эластомеров заполняются только те места, где это необходимо, а выход пены на поверхность носит частичный характер.

Гидроизолирующее инъецирование пустот при помощи эластомеров возможно при любых влажностных состояниях, если пустоты в бетоне не угрожают устойчивости. Использование вспенивающихся эластомеров должно быть исключено, чтобы оставить максимально свободными пути для растекания полимера с длительным гидроизолирующим эффектом.

Дуромеры

Если дефекты обнаружены в сухих строительных элементах или возможно проведение инъецирования до наступления вероятной водной нагрузки, используются терморреактивные, прочные полимеры на основе эпоксидной смолы (EP). Для инъецирования влажных или водонесущих трещин или пустот подходят только специальные влагостойкие дуromеры на основе эпоксидной смолы или полиуретана. Выбор дуromера осуществляется по таким показателям, как вязкость, нарастание прочности и влагостойчивость.



Рисунок 4: Трещины плиты основания подземной парковки

Инъецирование дуromерами пустот в целях их заполнения может быть рекомендовано только для пустот небольших объёмов размером $\leq 100 \text{ см}^3$. Экзотермическая реакция полимера, а также его термическое расширение могут послужить причиной повреждений как в структуре полимера, так и в структуре бетона. Из-за значительных различий характеристик деформации изменяется также и жёсткость инъецированного дуromером бетона.

На плите основания подземной парковки (рисунок 4) видны трещины. Восстановление надёжного, герметичного сцепления было успешно осуществлено при помощи дуromера.

Минеральные суспензии

Минеральные суспензии на основе цемента требуют, по сравнению с реактивными полимерами, большей ширины раскрытия трещин, значительно превышающей ширину трещин, считающихся водоносными. Кроме того, суспензии требуют низкого давления подачи, для того чтобы они не расслаивались во время инъектирования в результате неблагоприятных условий распространения. Таким образом, их применение связано с определёнными ограничениями, которые необходимо учитывать.

Цементные суспензии изготавливаются из цемента тонкого помола, добавок и воды. Сила сцепления соединения, полученного в результате инъектирования цементной суспензии, определяется заполнителем. Ввиду ограниченной прочности вяжущего на растяжение, нагрузка на растяжение трещин, заполненных минеральными суспензиями, должна быть ограничена. С прочностью на сжатие дела обстоят лучше. В целом, условно жёсткое соединение достигает всего лишь значений прочности бетона марки С30/37.

Структура бетона с большим количеством пустот может быть заполнена цементной суспензией в целях гидроизоляции и укрепления при любых влажностных состояниях. При этом следует учитывать ограниченную прочность на растяжение затвердевшей минеральной суспензии. При насыщенной водой структуре бетона цементная суспензия успешно применяется только при возможности вытеснения имеющейся воды при инъектировании низким давлением.

Подготовленная цементная суспензия закачивается через специальные заполнительные штуцера под низким давлением. Важным при этом является, по возможности, отсутствие давления на пути подачи до входа в строительный элемент. Обратные клапана, такие как используются при инъектировании полимерами, здесь непригодны. Для условий инъектирования при низком давлении необходимы проходные при низком давлении пакеры с клапаном или управляемые вручную затворы.

Гидроструктурные смолы

Гидроструктурные смолы - интересные материалы, отличающиеся высокой упругостью как следствие их способности к набуханию. Прежде всего гидроструктурные смолы необходимо оберегать, но не от влаги, а наоборот, от излишнего высыхания. Их использование в строительном грунте или в близких к нему швах подземных сооружений обеспечивает такие условия. Объём сохраняется в постоянно влажной среде с нейтральным водородным показателем. Технология заполнения гелем представляет собой, при определённых условиях, технологическую и экономическую альтернативу гидроизоляционному инъектированию эластомерами. Сильными сторонами гидроструктурных смол являются, наряду с очень хорошей деформируемостью, их удивительно низкая вязкость и быстрая, управляемая скорость реакции.

Инъектирование гидроструктурными смолами возможно, в принципе, при ширине трещин $< 0,1$ мм. Гидроструктурные смолы на основе акрилатов обладают чрезвычайно низкой вязкостью, близкой к вязкости воды - около 5 мПа*с. Благодаря этому, они достигают сходных с водой пенетрационных свойств. Их распространение ограничивается временем реакции и связанным с ним нарастанием вязкости. Поскольку количество инициатора может варьироваться, необходимо стремиться к максимальной эффективности при ограниченном количестве добавки. Большое количество добавки при незначительном ускоряющем эффекте оказывает негативное влияние на экологическую совместимость, антикоррозийную защиту и даже на качество продукта.

Инъектирование гидроструктурными смолами требует наличия оборудования соответствующего класса и высокой квалификации выполняющего работы персонала. Применение 2-компонентного насоса является условием для технически правильного их использования.

Резюме

Даже при безупречном выполнении строительных работ по бетонированию невозможно

избежать незапланированного образования трещин – в противоположность к образованию пустот, образующихся в результате технологических недочётов. Причиной тому является большое количество трудноучитываемых факторов в ходе строительства. Трещины и пустоты не приведут к разрушению строительного элемента, если их тщательно заполнить, используя инъекционные системы.

Для выбора имеются различные инъекционные системы. Принципиальным является выбор инъекционного материала, который в течение длительного срока должен будет обеспечивать гидроизоляцию в месте нарушения структуры. Для планирования и проведения работ по гидроизоляции конкретного объекта параметры инъекционного материала должны наиболее соответствовать условиям инъектирования.

Необходимыми условиями являются квалифицированное планирование процесса инъектирования и специальное обучение персонала, проводящего инъектирование. Ведущееся в ходе внедрения концепции ремонта точное документирование всех работ является важным условием долгосрочного успеха.

ЛИТЕРАТУРА

[1] DIN EN 1504-5:2005-03: Изделия и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определения, требования, контроль качества и оценка соответствия – Часть 5. Инъекция бетона.

[2] Регламент (ЕС) № 1907/2006 Европейского Парламента и Совета от 18 декабря 2006 года «О регистрации, оценке, допуске и ограничении химических веществ (REACH), о создании Европейского Агентства по химическим веществам, об изменении директивы 1999/45/EG и отмене Постановления (ЕЭС) № 793/93 Совета, Постановления (ЕС) № 1488/94 комиссии, Директивы 76/769/EWG Совета, а также Директив 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG и 2000/21/EG Комиссии» (Регламент REACH), опубликован в Бюллетене №. L 396/1 от 30.12.2006.

УДК 699.822

ІН'ЄКТУВАННЯ ТРІЩИН І ПОРОЖНЕЧ В БЕТОНІ

©Божок В.А.

У статті розглянуто причини утворення тріщин і порожнеч у бетоні. Вказані необхідні параметри для прийняття рішення з проведення ін'єкційних робіт і методи їх визначення. Описано типи необхідного ін'єкційного обладнання, а також розглянуті принципи розташування пакерів. Окрему увагу приділено вибору ін'єкційного матеріалу: еластомери, дуомери, мінеральні суспензії і гідроструктурні смоли.

UDC 699.822

INJECTION OF CRACKS AND VOIDS IN CONCRETE

© Bozhok V.A.

The article considers the reasons for the formation of cracks and voids in the concrete. Indicate the relevant parameters for the decision for the injection works, and methods for their determination. Describes the types of equipment needed, as well as location principles of the packers. Special attention is paid to the selection of injecting material: elastomers, duromers, mineral suspensions and hydro-structural resins.