

УСЛОВИЯ РАБОТЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ, ОБРАБОТАННОГО КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ ГИДРОФОБИЗАТОРАМИ

В.А. НИКИШКИН, канд. техн. наук, ОАО «Институт «УралНИИАС», г. Екатеринбург

В статье исследуется внутреннее состояние бетона в результате применения гидрофобизатора и дается оценка степени его влияния на изменение состояния цементного камня.

В наиболее благоприятных условиях бетон находится в начале своей жизни, примерно 28 суток, когда строители заботятся о нем и создают наиболее комфортные условия для его существования. Когда бетон приобрел эксплуатационные свойства, о нем забывают, и дальнейшее его существование сопровождается постоянным ухудшением свойств из-за воздействия окружающей среды, снижающего долговечность. Основным фактором, усиливающим влияние окружающей среды на состояние бетона, является фильтрация воды через его тело. Остановив фильтрацию, можно существенно увеличить и долговечность. Одним из наиболее простых и эффективных способов сделать это является обработка бетонной поверхности кремнийорганическими гидрофобизаторами (КОГ).

Существует много КОГ, обладающих разной степенью эффективности как по применению, так и по воздействию на бетонную поверхность, поэтому необходимы методы и способы, которые позволили бы оценить степень воздействия КОГ на бетон. Одним из наиболее наглядных является визуальная оценка действия КОГ, которая может быть осуществлена с помощью электронного микроскопа и позволяет заглянуть в микромир бетона и цементного камня как его структурообразующей части.

Для исследования влияния КОГ на внутреннее состояние бетона и на придание ему водонепроницаемых и водоотталкивающих свойств был использован гидрофобизатор «Типром К» (водный раствор силан-силоксановой эмульсии). Поверхность одной из граней образца обработали этим гидрофобизатором. После выдержки его раскололи по плоскости перпендикулярной грани, обработан-

ной гидрофобизатором «Типром К» и поместили под микроскоп. Полученные фотоснимки позволили оценить степень влияния использованного гидрофобизатора на изменение состояния цементного камня*. В связи с тем что действие гидрофобизатора в наибольшей степени проявляется в слоях бетона, наиболее близко расположенных в обработанной поверхности, оценка влияния действия гидрофобизатора может быть проведена на цементном камне одного и того же образца. Слои, расположенные у грани, противоположной обработанной, действию гидрофобизатора практически не подвергались. Рассмотрим сначала, что собой представлял исследованный образец.

На рис. 1 показан внешний вид образца при увеличении, позволяющем рассмотреть строение растворной составляющей бетона без крупного заполнителя. В состав раствора входят мелкий заполнитель (поз. 1), след-раковина от зерна мелкого заполнителя (поз. 2), образовавшийся в результате излома, пузырек воздушной поры (поз. 3), капилляр, пронизывающий цементный камень (поз. 4), цементный камень (поз. 5), трещина (поз. 6). Видно, что часть элементов строения растворной составляющей бетона способна пропускать через себя воду: это капилляры, трещины, полости в месте контакта заполнителя и цементного камня (заполнитель выкальвается без разрушения цементного камня, примыкающего к нему, значит, между заполнителем и цементным камнем есть воздушная полость). Известно, что цементный камень имеет пористую структуру и значительное количество пор (количество пор в цементном камне может занимать 20-60% от его объема /1/). Поры в большинстве своем имеют шаровидную форму, трещины и капилляры пронизывают их, выходя на внутреннюю поверхность пор. Создается система связанных между собой полостей, каналов и объемов, которая служит путями, по которым проходит фильтрующаяся через бетон вода.

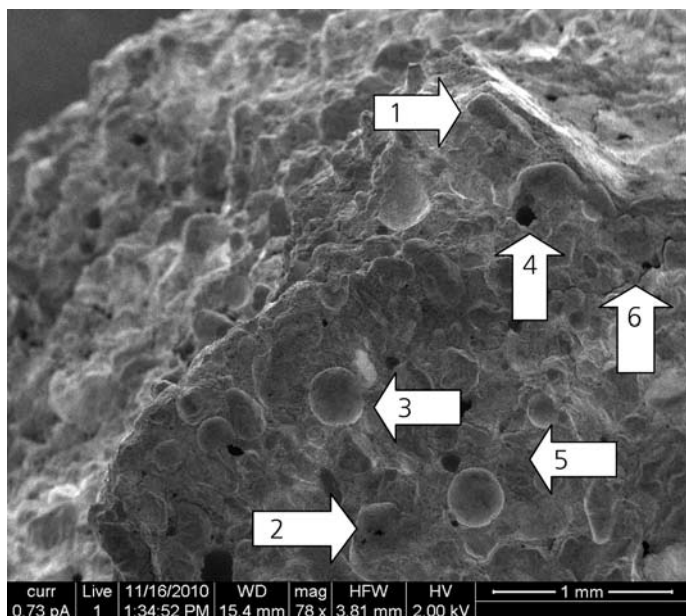


Рис. 1. Внешний вид образца, подвергшегося исследованию

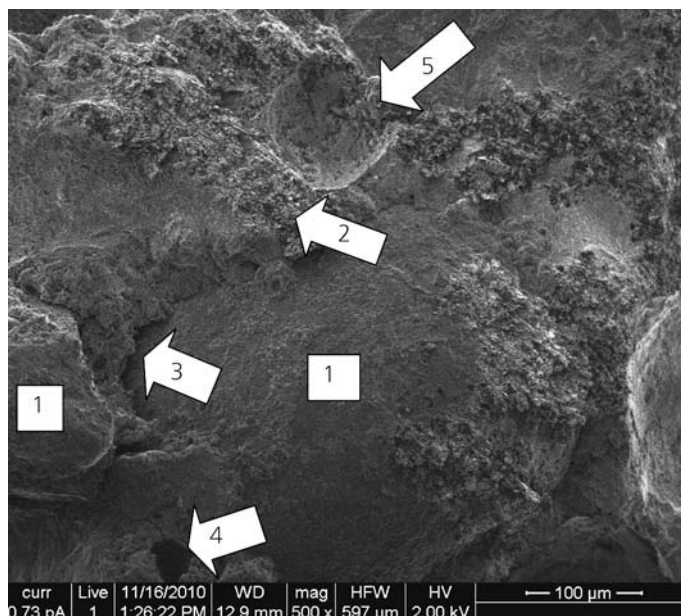


Рис. 2. Внешний вид цементного камня на микроуровне

Если выйти на уровень увеличения, позволяющий различить частицы цементного камня размером порядка 1 мкм, то можно увидеть, что в микромире также присутствуют структурные элементы, способные проводить воду (см. рис. 2).

На рис. 2. поз. 1 обозначены зерна мелкого заполнителя. Пространство между зернами заполнителя занимает цементный камень, образованный гидратированными с поверхности цементными зернами (поз. 2). Во время разрыва цементного камня образовалась выщербленная поверхность (поз. 2), так как часть зерен осталась на рассматриваемой половине образца, а часть – на другой. Это произошло вследствие того, что прочность полугидратированных частиц цемента выше прочности кристаллических и гелеобразных новообразований, возникших в результате гидратации цементных минералов и заполнивших межзерновое пространство полугидратированных цементных зерен /2/. Разрушение прошло по границам соприкосновения зерен. Наличие межзернового пространства в цементе предполагает, что не все оно заполнено продуктами гидратации и существует возможность существования крупнопористой структуры цементного камня, способной пропускать воду. Стрелка с поз. 3 показывает на полость, образовавшуюся между зерном заполнителя и цементным камнем. Поз. 4 обозначен капилляр, а поз. 5 – круглая пора в цементном камне.

На основании рис. 1 и 2 можно сделать вывод, что дефекты, характерные для бетона в макрообъемах, присутствуют и в микрообъемах. И те и другие способны пропускать воду, причем количество микродефектов по объему значительно превышает количество макродефектов, и если макродефекты можно эффективно уменьшить за счет лучшего уплотнения, эксплуатации без перенапряжения и т.д., то микродефекты возникают из-за причин, связанных с природными особенностями строения цементного камня, поэтому устранение их требует более сложных действий.

Одним из таких действий является обработка бетона кремний-органическими гидрофобизаторами, в частности «Типром К».

На рис. 3 показан внешний вид цементного камня на микроуровне после обработки его гидрофобным составом «Типром К». Гидрофобный состав, проникая в тело бетона и цементного камня по капиллярам, порам, полостям и трещинам, взаимодействует с его компонентами, в том числе с гидроксильными группами, входящими в состав жидкой составляющей цементного камня. В результате на поверхностях этих дефектов формируется и полимеризуется тонкая водонепроницаемая пленка, которая, с одной стороны, уменьшает размеры дефектов, утончая их и тем самым создавая дополнительное сопротивление воде при ее фильтрации через бетон, а с другой – перекрывает мелкие микродефекты, выходящие на поверхность макродефектов, возводит непреодолимый барьер для воды. Следует отметить, что утончение дефектов в основном происходит вследствие уменьшения их объема в результате сглаживания неровного рельефа поверхности дефектов, а не за счет толщины образующейся пленки. Такое сглаживание уменьшает общую поверхность возможного смачивания цементного камня, что также положительно сказывается на повышении водонепроницаемости.

Так как на рис. 3 показан тот же бетон, что и на рис. 2, то можно провести сравнение. На рис. 3 поверхности мелкого заполнителя (поз. 1), внутренняя поверхность воздушной поры (поз. 2), поверхность воздушной полости, имеющей вид следа-раковины от мелкого заполнителя (поз. 3), поверхности зерен цемента в составе крупнопористой массы в виде выщербленных участков или россыпи частиц цемента (поз. 4) покрыты пленкой, которая на фотографии имеет вид белого цвета. Пленка плавно и непрерывно

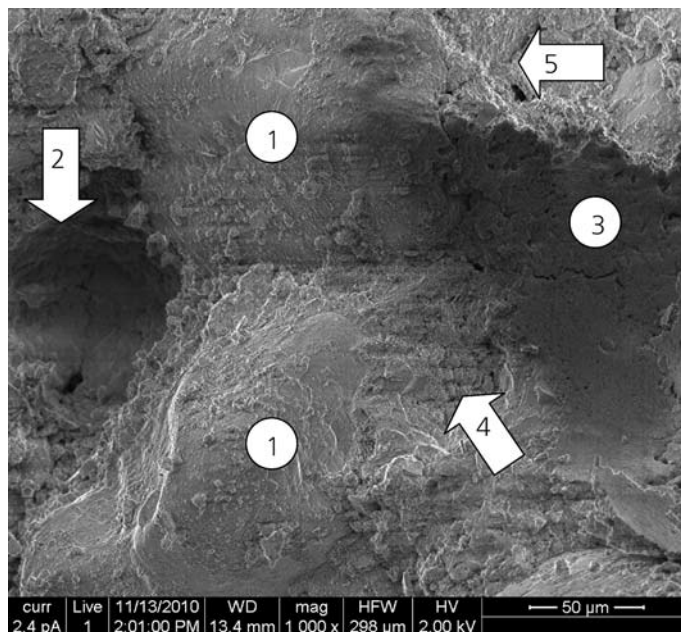


Рис. 3. Внешний вид цементного камня на микроуровне после обработки гидрофобизирующим составом «Типром К»

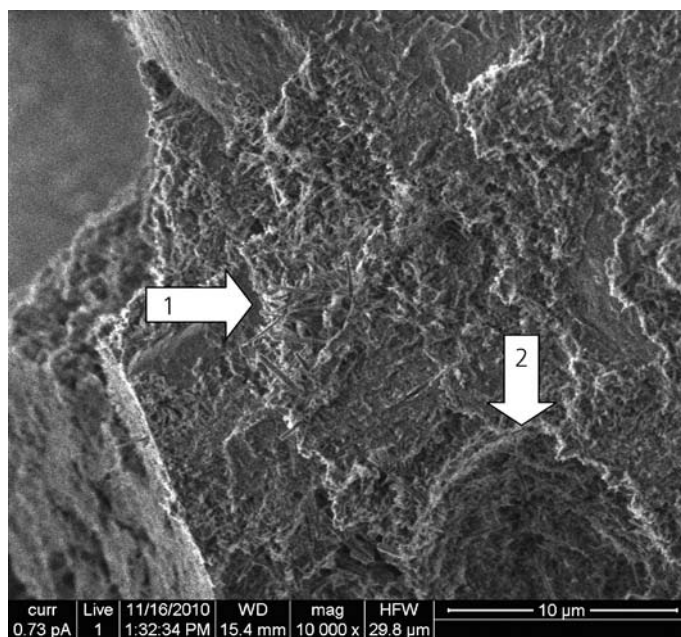


Рис. 4. Внутренняя поверхность трещины в цементном камне, необработанном гидрофобизаторами

переходит от одного структурного компонента цементного камня на другой, убирая резкие очертания между этими компонентами, характерные для рис. 2. Пленка перекрывает мелкие трещины и капилляры, закрывая их и переводя в разряд закрытой пористости. Количество связанных между собой пор, полостей уменьшается, а значит, минимизируется и количество путей, через которые может просочиться вода. Если трещины (поз. 5) и капилляры остаются, то сечения их заметно утончаются.

При изломе исследуемого образца бетона разрушение прошло по самым слабым местам, то есть по трещинам, капиллярам и порам. Электронный микроскоп позволил заглянуть внутрь трещины и оценить качественные преобразования поверхности внутри трещины. На рис. 4 показана внутренняя поверхность трещины при отсутствии обработки гидрофобизатором, а на рис. 5 – ее внутренняя поверхность после обработки гидрофобным составом «Типром К».

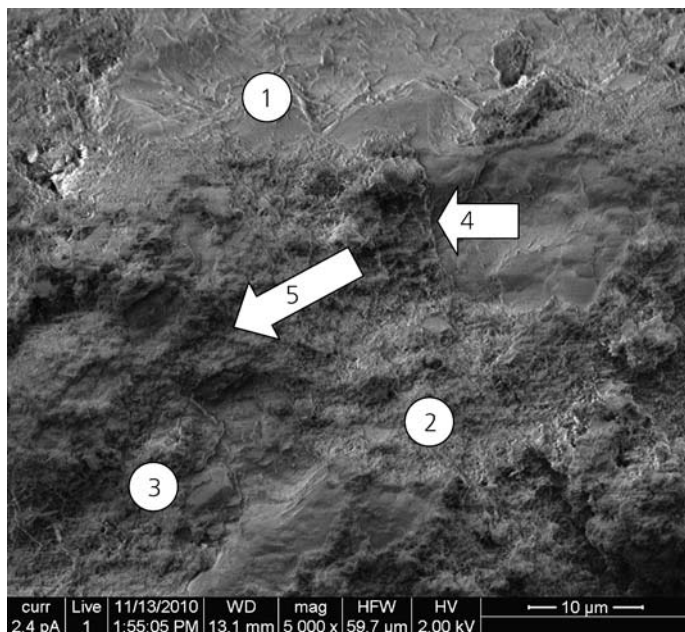


Рис. 5. Внутренняя поверхность трещины в цементном камне, обработанном гидрофобизатором «Типром К»

До обработки (см. рис. 4) внутренняя поверхность трещины представляет собой хаотически нагроможденные кристаллы (поз. 1) гидросульфалоюминатов кальция и гидросиликатов кальция, которые без затруднения прорастают в свободное пространство трещины, создавая по поверхности щетку кристаллов или «гидросиликатную шерсть». Такая же «гидросиликатная шерсть» покрывает и внутренние поверхности пор (поз. 2). По рис. 4 длина кристаллов составляет 2-3 мкм. То есть при ширине трещины более 4-6 мкм в ней остается свободное пространство, по которому вода проходит без ограничений. Если ширина трещин будет меньше, то появится сопротивление, при ширине раскрытия трещин 1 мкм и менее вода через трещины не проходит /3/. Так как силикаты кальция и гидросиликаты кальция, алюминаты кальция и гидроалюминаты кальция, гидроксид кальция и другие минералы, входящие в состав цементного камня, хорошо смачиваемые вещества, вода без сопротивления, а даже с некоторой тягой будет перемещаться по порам и капиллярам внутрь цементного камня, заполняя все свободные поры и полости. Под внешним давлением проявится просачивание воды через тело бетона.

Качество внутренней поверхности трещин, пор и капилляров после обработки бетона поверхности гидрофобизатором «Типром К» показано на рис. 5.

Внутренняя поверхность покрывается пленкой из полимеризованного кремнийорганического соединения. Пленка имеет вид гладкой равномерно матовой поверхности (поз. 1). Полимеризация идет по поверхности кристаллической щетки, а при ее отсутствии – по поверхности гидратированных частиц цемента, покрытых слоями пластинок тоберморита и кристаллами гидроксида кальция. В местах формирования пленки по кристаллической щетке образуется трехслойный барьер: поверхность трещины – кристаллическая щетка – полимерная пленка – выход в трещину. Отдельные кристаллы кристаллической щетки тоже покрыты полимерной пленкой. Если трещина слишком узкая: шириной до 4-6 микрон; то полимерные пленки соседних сторон трещины могут соприкасаться и слипаться. Притяжение между ними становится больше, чем прочность на растяжение кристаллической щетки, и разрушение при разломе по трещине пройдет по щетке. На рис. 5 это место обозначено позицией 2. Разрыв пленки произошел в месте, показанном стрелкой 4. Поз. 3 на этом же рисунке отмечает место разрушения по цементному камню, имеющему крупнопористую

структуру, образованную спаянными между собой гидратированными с поверхности частицами цемента (поз. 3).

В месте этой структуры трещина отсутствует, направление уменьшения ширины трещины показано стрелкой 5. Нужно отметить, что гидрофобизатор, которым был обработан бетон, проник и в зону крупнопористой структуры (поз. 3), о чем свидетельствует матовый белый цвет зерен и их округлые, мягкие поверхности без резких изломанных очертаний.

Обработка кремнийорганическим гидрофобизатором позволяет создать на поверхности трещин, пор, полостей, а также на поверхности частиц цемента в межпоровом пространстве новый слой-пленку из молекул кремнийорганических соединений (КОС) /4/, достаточно прочно удерживающийся на цементном камне вследствие некомпенсированной поляризации крайнего слоя пленки толщиной в одну молекулу, обращенного к элементам цементного камня. В результате пленка, повторяя изломанный рельеф цементного камня, на поверхность которого выходят чешуйки, пластинки, кристаллы гидратных новообразований с положительными и отрицательными углами наклона, в местах выхода ее на границу твердой или газообразной среды удерживается за счет механических сил зацепления за неровности рельефа.

В молекулах КОС на атомном и ионном уровнях структуры присутствуют углеводородные элементы, которые придают особые свойства фиксирующейся и полимеризующейся на поверхности цементного камня пленке. Углеводородная составляющая молекул КОС увеличивает краевой угол смачивания водой поверхности /5/, к ней прикрепляются молекулы. В результате образующаяся на поверхности цементного камня после обработки его гидрофобизатором «Типром К» пленка понижает смачиваемость стенок капилляров и полостей, и наружная вода уже не подсысывается внутрь цементного камня.

Выводы:

1. Использование микроскопа для исследования изменения состояния цементного камня под действием кремнийорганических гидрофобизаторов позволяет визуально оценить их эффективность и изучить природу их действия.

2. Водопроницаемость бетона и цементного камня возникает вследствие неизбежности образования дефектов в их внутренней структуре.

3. Кремнийорганические гидрофобизаторы превращают структурные компоненты бетона и цементного камня из смачиваемых материалов в несмачиваемые, поэтому подсос воды, характерный для бетонных поверхностей, сменяется отталкиванием воды.

* Автор выражает благодарность генеральному директору ЗАО «САЗИ» Гладкову Сергею Александровичу, г. Москва, за возможность воспользоваться фотографиями для анализа влияния кремнийорганических гидрофобизаторов на структуру цементного камня и опубликовать их.

Библиографический список:

1. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне: Физико-химическое бетоноведение. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
2. Никишкин В.А. Влияние структуры и плотности на прочность и деформативность плотного строительного бетона и его составляющих. – Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2009. – 269 с.
3. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1971 – 360 с.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: 1998. – 768 с.
5. Поверхностные пленки воды в дисперсных структурах / Под ред. Е.Д. Шукина. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 279 с.