

Разрушение строительных материалов с точки зрения метода кристаллизации в гелях

Коммерческий директор ООО «Кола» Л.Л. Гошка

Если отрицательное влияние воздуха на организм человека проявило себя относительно недавно, то влияние воздуха на бетонные и железобетонные конструкции хорошо известно. Поэтому изучение влияния воздуха на процессы, происходящие в двухфазной системе, состоящей из двух или более компонентов, лучше начать с примера бетонов и железобетонов, но рассматривать будем, используя метод выращивания кристаллов в гелях.

В зданиях и сооружениях [1] бетоны могут подвергаться отрицательному воздействию, в первую очередь, воды и водных растворов различных веществ, в том числе и газов, вызывающих химическую коррозию; различных неорганических и органических веществ в жидком и газообразном состоянии (химическая коррозия); многократно повторяющихся процессов увлажнения и высыхания, а также замерзания и оттаивания, часто в водонасыщенном состоянии (физическая коррозия); различных веществ, отлагающихся в порах и капиллярах цементного камня и бетона в результате капиллярного подсоса минерализованных вод и их испарения; кристаллизуясь, они могут вызывать вредные напряжения (физическая коррозия).

Следует подчеркнуть, что разрушающее влияние на бетон различных агрессивных факторов часто усиливается его напряженным состоянием, возникающим под действием механических нагрузок.

В.М. Москвин разделяет коррозионные процессы, возникающие в цементных бетонах под действием водной среды, на три группы. К первой группе (коррозия I вида) он относит процессы, протекающие в бетоне под действием вод с малой временной жесткостью. При этом некоторые составляющие цементного камня растворяются в воде и уносятся при ее фильтрации сквозь толщу бетона.

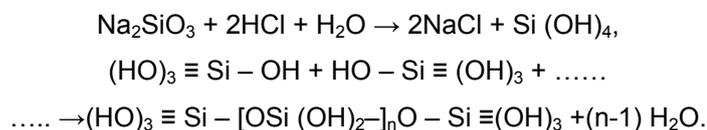
Ко второй группе (коррозия II вида) относятся процессы, развивающиеся в бетоне под действием вод, содержащих вещества, вступающие в химические реакции с цементным камнем. Образующиеся при этом продукты реакций либо легко растворимы и уносятся водой, либо выделяются на месте реакции в виде аморфных масс, не обладающих вяжущими свойствами. К этой группе могут быть отнесены, например, процессы коррозии, связанные с воздействием на бетон различных кислот, магниезальных и других солей.

В третьей группе (коррозия III вида) объединены процессы коррозии, вызванные обменными реакциями с составляющими цементного камня, дающими продукты, которые, кристаллизуясь в порах и капиллярах, разрушают его. К этому же виду относятся процессы коррозии, обусловленные отложением в порах камня солей, выделяющихся из испаряющихся растворов, насыщающих бетон.

Обычно на бетонные конструкции одновременно воздействуют многие агрессивные факторы, но один из них обычно является основным. Чаще всего это процессы, вызывающие коррозию II вида.

В основе химико-технологического процесса производства строительных материалов [2] лежит важное физико-химическое явление – гидратационное твердение кальцийалюмосиликатных и других цементов.

Примером некристаллических конденсационных дисперсных структур являются силикаты и алюмосиликаты (силикагели и алюмосиликагели, водные и обезвоженные). Силикагели образуются при выделении новой аморфной фазы при взаимодействии силиката натрия с кислотой



В реакцию могут быть включены также соли алюминия.

Возникающий первоначально золь кремнекислоты (или алюмосиликазоль) коагулирует и образует гель (исходную коагуляционную структуру).

Кроме того, именно такие процессы лежат в основе получения многих катализаторов, носителей и сорбентов, например катализаторов крекинга нефти.

Для приготовления геля на основе метасиликата натрия (жидкого стекла) используется это же явление.

Как мы уже отмечали [3], гели образуются из суспензий или растворов путем установления поперечных связей между молекулами одного компонента, причем возникает трехмерная система. Такая система заключена в сплошную среду второго компонента. Поэтому гель можно рассматривать как полимер со

слабыми перекрестными связями. Если дисперсионной средой служит вода, то такой материал называют «гидрогелем» (именно он образуется в поддоне кондиционера в процессе эксплуатации).

При переходе метасиликата натрия в раствор образуется, согласно динамическому равновесию



ортокремневая кислота, которая может, как принято считать, полимеризоваться с выделением молекулы воды. Этот процесс может повторяться многократно до тех пор, пока не образуется трехмерная вязь из связей Si – O.

Основной отличительной особенностью геля является его пористость, характеризующейся большой удельной поверхностью ($S_{\text{уд}}$):

$$S_{\text{уд}} = S/m \quad (2),$$

где S – площадь межфазной поверхности между дисперсионной средой (жидкостью) и дисперсионной фазой (каркасом геля);

m – масса дисперсионной фазы.

Таким образом, гель на основе метасиликата натрия с удельной поверхностью от 10 до 50 м²/грамм с эффективным диаметром пор порядка 5-16 нм можно отнести к уровню наносистем.

Далее нам необходимо учесть, что, касаясь природы кремнезема, глинозема, двуокиси марганца, двуокиси свинца и соответствующих им водных соединений, Д.И. Менделеев отмечал [4], что все эти соединения, так же как и простые тела, образуемые углеродом, имеют высокомолекулярное строение. Например, в безводном кремнеземе «находится не SiO₂, а сложная частица (SiO₂)_n, т.е. строение кремнезема есть полимерное, сложное». Столь же сложное строение водного кремнезема и силикатов. Важно отметить, что в структуре последних Менделеев различал неизменный каркас и другую часть строения, которая может изменяться и замещаться.

Что касается твердых веществ, то Менделеев считал [4], что «представляя уединенную массу тела, мы во всех его состояниях должны признать на поверхности массы иной вид внутреннего движения, или иное распределение частей, частиц и атомов, чем внутри массы». Когда на поверхность попадают молекулы посторонних веществ, то на месте их встречи с атомами поверхности происходят «действительные пертурбации, уклонения в движении и притом иного рода, чем на свободной поверхности», поскольку соприкасающиеся тела взаимно влияют друг на друга. «Степень и даже срок пертурбаций или изменений движения будет зависеть от индивидуальности тел касающихся, т.е. будет носить характер чисто химический». При соприкосновении двух тел, А и В, наступает изменение их внутреннего движения, которое «может давать в химическом опыте лишь следующий тройкий результат».

По современной терминологии это сорбция, обычное химическое превращение веществ А и В и катализ (химическое превращение одного тела).

В первом случае атомы, составляющие тела А и В, «из бывшего химического равновесия не выходят, химического изменения не совершается». Изменение внутреннего движения приводит лишь к изменению упругости пара – при смещении газов и паров или жидкостей – и к поглощению (сорбции) – при соприкосновении твердого тела и газов. При сорбции, однако, в определенных случаях образуются соединения, которые представляют собой «переход к разряду настоящих химических соединений».

Во втором случае атомы А образуют с атомами В новые молекулы. Происходит реакция соединения, замещения или разложения, т.е. обычное химическое взаимодействие, ведущее к превращению исходных веществ в новые по составу и свойствам.

В случае катализа, в отличие от обычных химических реакций, только одно тело, например А, претерпевает изменения. Причем катализ может наблюдаться лишь в тех случаях, когда неизменяющееся тело В, катализатор, «находится в столь прочном подвижном состоянии, что сравнительно малая пертурбация движения его атомов в частице, происходящая на плоскости касания, не нарушает атомного равновесия его частиц, тогда как в изменяющемся теле А подвижное равновесие атомов в частице уже само собой, до прикосновения к В, было близко к нарушению или неустойчивости».

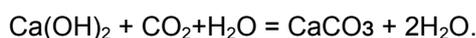
Кроме того, следует особо выделить высказывание В.Б. Алесковского [4], что все твердые вещества в той или иной мере летучи и растворимы, т.е. подвержены деструкции. С течением времени они насыщают окружающую среду своими мономерами. Когда в той среде, где они находятся, имеются какие-нибудь реагенты — осадители для этих мономеров, то после достижения равновесия на поверхности твердых веществ молекула за молекулой осаждаются продукты взаимодействия осадителей, например ионов металлов, с мономерами. Это стимулирует дальнейшую деструкцию твердого вещества вплоть до полного его превращения в продукт этого деструкционно-эпитаксиального превращения (ДЭП) – соответствующий дэпит.

Этот процесс был изучен (1961 г.) на примере поликремневой кислоты, а затем ряда других твердых кислот и оснований.

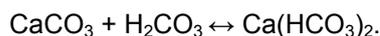
Таким образом, в условиях загрязнения окружающей среды мы в полной мере можем иметь весь этот набор процессов (образование химических соединений, сорбцию, катализ, деструкцию твердого вещества) на поверхности строительных материалов в помещении.

Например, в строительных материалах рассматривается следующий углекислый коррозионный процесс.

Углекислая коррозия развивается при действии на цементный камень и бетон воды, содержащей углекислый газ CO_2 . При этом вначале идет реакция между $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цемента и углекислотой с образованием малорастворимого CaCO_3 по схеме:



Дальнейшее воздействие H_2CO_3 на цемент приводит, однако, к образованию более растворимого гидрокарбоната:



В этой обратимой реакции следует различать углекислоту, связанную в гидрокарбонате $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Для предотвращения его разложения и обратного перехода в CaCO_3 необходимо присутствие в растворе определенного количества так называемой «равновесной» неагрессивной углекислоты. Появление же в растворе «сверхравновесного» количества углекислоты вызывает растворение новых порций CaCO_3 и образование $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Эта избыточная углекислота называется агрессивной. Углекислая коррозия воздействует на бетон тем слабее, чем больше в водном растворе гидрокарбонатов кальция и магния.

В предыдущей статье [5] мы уже рассматривали механизм образования карбоната кальция (кальцита) в организме человека.

Далее рассмотрим, как получают кальцит в гелях.

Источником кристаллообразующих ионов Me^+ и A^- могут быть любые исходные химические соединения, достаточно хорошо растворимые в воде (более 10 г вещества на 1 л воды), которые изначально должны быть разнесены в пространстве, а средой образования нового химического соединения $\text{Me}^+ + \text{A}^- \leftrightarrow \text{MeA}$ может служить двухфазная система, состоящая из двух или более компонентов (в нашем случае это гель).

При этом, по утверждению Г. Гениша [6], необязательно, чтобы второй реагент был в виде раствора. Поэтому вместо раствора CaCl_2 или ацетат кальция CaAc_2 , мы можем использовать газообразные реагенты, которые содержат кальций.

Таким образом, использование метода выращивания кристаллов в гелях позволяет моделировать различные процессы, происходящие в двухфазной системе, состоящей из двух или более компонентов меняя различные параметры, как самого геля, так и среды над гелем, а реакцией геля на эти изменения являются кристаллы, которые могут в нем зародиться и расти.

В гелях [6] на основе метасиликата натрия кальцит образуется путем взаимодействия карбонатов с солями кальция. Для выращивания кристаллов по этой реакции предложено два метода.

В первом из них гель сам по себе содержит карбонат. Готовят смесь водных растворов метасиликата натрия и какого-нибудь карбоната, причем величину pH доводят до 7-8 (обычно с помощью уксусной кислоты). После того как гель застынет в I-образной пробирке, раствор соли кальция наливают поверх геля и дают возможность ей продиффундировать в гель. Попытки смешивать соль кальция с гелем оказались безуспешными, поскольку при значениях $\text{pH} \geq 7$ образуется осадок силиката кальция. При более низких значениях pH этого осаждения удается избежать, но возникает опасность образования CO_2 , который может разрушить гель. Следует отметить, что в данном случае образование CO_2 происходит в отсутствие биологических процессов.

Во втором методе нейтральный гель первоначально не содержит ионов кальция и карбоната. Эти реагенты диффундируют в гель с двух сторон и при взаимодействии образуют кальцит. Такой процесс проводят в U-образных трубках или в сосудах, снабженных фильтром из спеченного стекла.

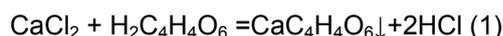
Эти два метода позволяют за 6-10 недель вырастить хорошо ограненные ромбоэдри кальцита размерами до 5 мм.

Для описываемого процесса рекомендуется использовать следующие реактивы: гелеобразующий раствор $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (марки ч.д.а.) с концентрациями от 0,17 до 0,23 М; источники ионов карбоната – растворы Na_2CO_3 (pH=11.6), $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (pH=9), NaHCO_3 (pH=8.6) или NH_4HCO_3 (pH=8.4); источником кальция может служить CaCl_2 или ацетат кальция CaAc_2 . Оказалось, что сочетание $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и CaCl_2 в равных концентрациях дает наилучший результат.

Исходными данными для построения модели является то, что в начальный момент времени исходные реагенты для образования химического соединения MeA разнесены в пространстве. Далее встречная диффузия поставляет кристаллообразующие ионы Me^+ и A^- в тот или иной слой геля. В тех слоях геля, где будет выполняться условие $[Me^+][A^-] > K_{пр}$, в осадок будет выпадать новое химическое соединение $Me^+ + A^- \leftrightarrow MeA \downarrow$.

Более подробно этот процесс удобно рассматривать при образовании тартрата кальция, т.к. этот процесс не сопровождается образованием других кристаллов, кроме самого тартрата кальция, и этот процесс менее критичен к изменению pH в широком диапазоне.

Для получения кристаллов тартрата кальция в гелях [7], на основе метасиликата натрия и винной кислоты в I-образной пробирке готовится гель. После его застывания на поверхность геля заливается раствор $CaCl_2$. Тем самым реализуется химическая реакция



На рис. 1 представлены два кристалла. С правой стороны кристалл тартрата кальция, выросший в геле, а слева кристалл, выросший в растворе хлористого кальция над гелем. Они могут отличаться только по форме и качеству, но не по химическому составу. Возможность легирования (добавления примесей) мы исключаем из рассмотрения. Отсюда можно предположить, что образование и дальнейший рост кристаллов тартрата кальция происходит в растворе. Тогда возникает вопрос, каким образом в среде с эффективным диаметром пор порядка 5-16 нм зарождаются кристаллы, а выращенные кристаллы в гелях могут быть значительно чище исходных реагентов? К настоящему времени в гелях были выращены самые совершенные кристаллы. В пробирке с гелем без особых усилий кристаллы тартрата кальция можно выращивать до линейных размеров порядка 5-10 мм.



Рисунок 1. Кристалл, выросший в геле (справа) и в растворе хлористого кальция над гелем

Отсюда напрашивается вывод, что кристаллы в гелях растут, не встречая сопротивления со стороны самого геля. Следовательно, можно предположить, что в гелях должен существовать процесс, который не связан с зародышеобразованием и ростом кристаллов, но подготавливает среду (гель) для успешного зародышеобразования и роста этих кристаллов.

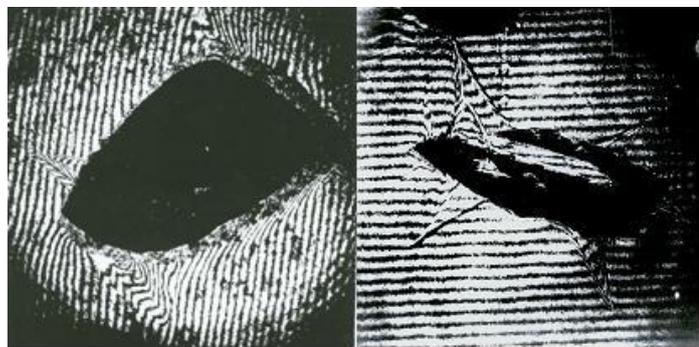


Рисунок 2. Концентрационное поле вокруг кристаллов, растущих в геле

Следовательно, можно считать, что каждый кристалл растет самостоятельно, практически не оказывая влияния на соседей. Относительно кристаллогенетической среды вокруг растущего кристалла можно сделать следующие предположения:

1. Кристалл окружает раствор, показатель преломления которого существенно отличается от исходных растворов (на границе полостей видны скачки интерференционных полос). Таким веществом может быть только продукт химической реакции, т.е. раствор соляной кислоты.
2. Раствор соляной кислоты медленно диффундирует в окружающий объем. Если бы это было не так, то вместо скачка интерференционных полос наблюдался бы плавный переход.

Удельная поверхность силикагелей составляет от 10 до 50 м²/грамм. Следовательно, кристаллогенетическая среда на основе геля характеризуется, прежде всего, большой поверхностной энергией. Эта поверхностная энергия может претерпевать самые разнообразные превращения и должна играть существенную роль в процессе кристаллообразования. Превращения поверхностной энергии в механическую энергию легко наблюдается уже на первом этапе приготовления геля: в процессе застывания геля и в зависимости от его плотности он может растрескиваться, отслаиваться от стенок сосуда (рис. 3) и т.д.

Застывший гель, по всей видимости, можно рассматривать как систему, в которой возникли и существуют механические напряжения.



Рисунок 3. Динамика высыхания геля. Возникновение и релаксация упругих напряжений в геле

Гель на основе метасиликата натрия и винной кислоты помещался в голографическую установку, поверх геля заливался раствор хлористого кальция с концентрацией, которая не приводит к зарождению кристаллов. В начальный момент времени (рис. 4а) на интерферограммах фиксировались горизонтальные интерференционные полосы, характерные для процесса встречной диффузии хлористого кальция и винной кислоты в геле. С течением времени интерференционные полосы постепенно начали изгибаться (рис. 4б) под углом в 90° . При достижении в геле определенной концентрации хлористого кальция происходила моментальная релаксация, т.е. интерференционные полосы снова становились горизонтальными, а в геле появлялись полости, различимые невооруженным глазом (рис. 4в).

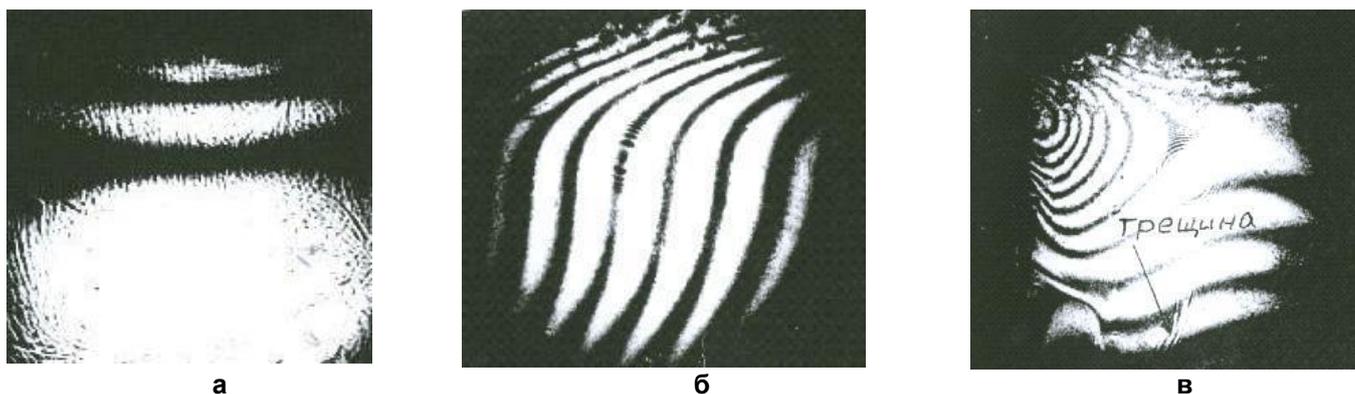


Рисунок 4. Возникновение и релаксация напряжений в геле при диффузии раствора CaCl_2 концентрацией один моль

Этот процесс повторялся с определенной последовательностью вслед за диффузией хлористого кальция по столбу геля ко дну кюветы. Объяснить образование полостей было возможно только тем, что внутри геля возникали мощные внутренние напряжения, которые снимались с самопроизвольным объединением пор с образованием полости. Отсюда можно сделать вывод, что изменение состава дисперсионной среды в геле приводит к нескольким эффектам, которые тесно связаны с поверхностной энергией системы. Выделим два явления: адсорбцию и эффект Ребиндера [2].

Адсорбция представляет собой процесс самопроизвольного перераспределения компонентов системы между поверхностным слоем и объемной фазой. В двухфазной системе, состоящей из двух или более компонентов, состав поверхности разрыва¹ между фазами может заметно отличаться от состава соприкасающихся объемных фаз, причем перераспределение концентраций в приповерхностном слое и объеме должно приводить к понижению свободной энергии системы:

$$C_s - C/C = -1/RT\delta \cdot \partial\sigma / \partial C, (2)$$

где C_s –поверхностная концентрация компонента

C –объемная концентрация компонента

σ – поверхностное натяжение

δ – толщина поверхности разрыва

¹ Существующий между фазами более или менее сильно развитый неоднородный слой, в котором осуществляется переход от свойств, характерных для одной фазы, к свойствам, характерным для другой фазы, называется поверхностью разрыва

Анализируя выражение (2), можно сделать следующие выводы:

- 1) перераспределение концентрации в объеме и на границе раздела фаз возможно для тех компонентов, концентрация которых изменяет поверхностное натяжение;
- 2) если поверхностное натяжение уменьшается с ростом концентрации, то происходит накопление вещества на границе раздела фаз, и наоборот, если поверхностное натяжение увеличивается с ростом концентрации, то происходит накопление вещества в объеме.

Эффект Ребиндера приводит к изменению прочности твердых и пористых тел вследствие физико-химического влияния среды, в которой эти тела находятся. Причем важной особенностью этого эффекта является его обратимость. Имеется в виду наличие термодинамической устойчивости границы между твердой фазой и средой, а также исчезновение эффекта при удалении среды.

Суть явления состоит в том, что если в пористом теле или имеющем трещины твердом теле возникли механические напряжения, то часть трещин может уменьшиться в размерах, а часть – увеличиться. Это зависит от размера трещин по отношению к критическому размеру (l_k):

$$l_k \sim \sigma E / p^2, (3)$$

где E – модуль Юнга;

p – приложенное напряжение;

σ – поверхностное натяжение.

Существование критического размера трещины обусловлено конкуренцией двух энергетических процессов: поверхностной энергии и энергии упругих деформаций.

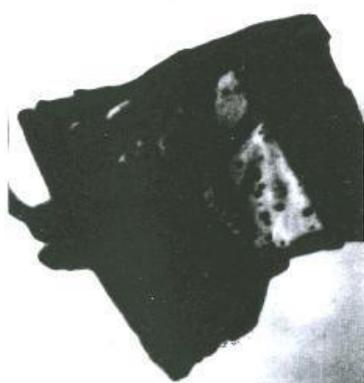
Анализируя выражение (3), необходимо подчеркнуть, что критический размер трещины является не только характеристикой самого тела (модуль Юнга), но и внешних условий: поверхностного натяжения и приложенных напряжений.

Следовательно, исходная концентрация раствора хлористого кальция, которую мы задаем изначально, будет по мере диффузии хлористого кальция в гель влиять на поверхностное натяжение внутри него, и тем самым на критический размер (l_k).

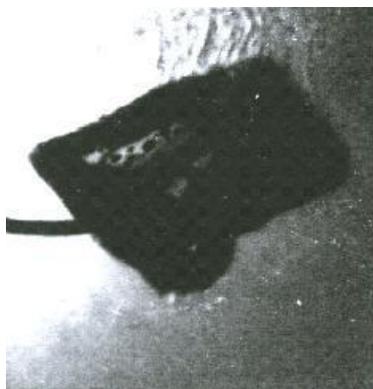
Таким образом, помещая тело в различные среды (например, жидкости) и изменяя поверхностное натяжение, мы можем управлять развитием трещин в ту или иную сторону, и, соответственно, увеличивать или уменьшать механическую прочность тела. Выражение для прочности тела P_0 со средним размером трещин l_c можно представить в виде:

$$P_0 \sim (\sigma E / l_c)^{1/2} (4)$$

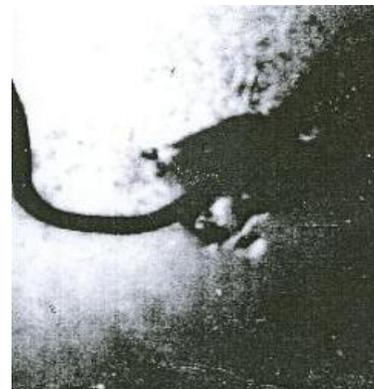
Из этого выражения видно, что, понижая поверхностное натяжение, мы понижаем реальную прочность тела. Наибольшее понижение прочности возможно при максимальном уменьшении поверхностного натяжения, т.е. при контакте с родственной жидкостью. Таким способом можно понизить прочность до такой степени, что может наступить полное разрушение тела.



а) первоначальный кусок геля



б) разрушение геля через один час после погружения в жидкое стекло (хорошо видны потоки направленные вверх сопровождающие процесс разрушения геля)



в) разрушение геля через полтора часа после погружения в жидкое стекло

Рисунок 5. Разрушение каркаса геля в жидком стекле

Ярко выраженная связь между понижением прочности тела и понижением поверхностной энергии наблюдается у пористых тел (рис. 5, 6), т.к. в пористых телах есть очевидные дефекты – поры. Кроме этого, смачивающие жидкости проникают внутрь тела в места дефектов и при помощи капиллярных сил облегчают разрушение пористого тела. На фотографии (рис. 5) видно, что гель разрушается, и через два часа его не стало, он полностью разрушился.



а) первоначальный кусок геля

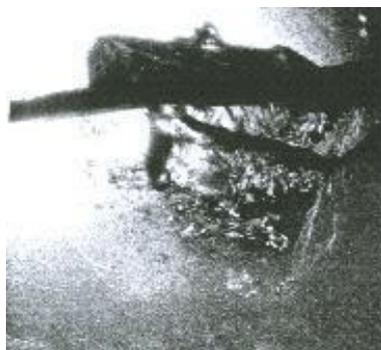
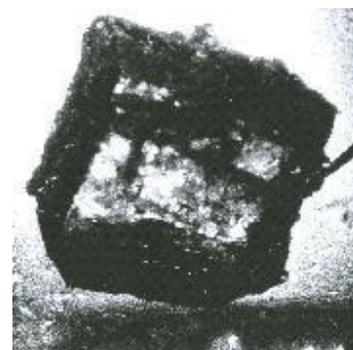
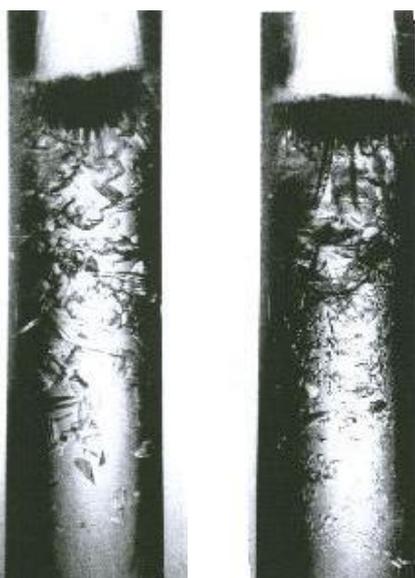
б) изменения, произошедшие за полтора часа после погружения его в раствор CaCl_2 в) тот же образец, вынутый из раствора CaCl_2

Рисунок 6. Частичное разрушение каркаса геля в насыщенном растворе CaCl_2

На следующей фотографии (рис. 6) видно, что гель полностью не разрушился, но изменился показатель преломления в этом геле, связанный с диффузией CaCl_2 в него. Изменение показателя преломления, по всей видимости, связано с изменением размера пор.

Таким образом, мы получили реальный механизм воздействия на гель и этим воспользуемся.



а) образец, не подверженный ультразвуковому облучению
б) образец после ультразвукового облучения

Рисунок 7. Стимулирование центров зарождения кристаллов в гелях при помощи ультразвука

концентрацию исходных реагентов между поверхностной и объемной фазами таким образом, что в объемной фазе может наступить пересыщение раствора, и как следствие этого, происходит образование твердой фазы (кристалла).

Таким образом, исходя из предложенной модели, все три вида коррозии по В.М. Москвину можно объединить в единый процесс, и первопричиной разрушения двухфазной системы, состоящей из двух или более компонентов, можно считать не химические реакции, а эффект Ребиндера. Тогда можно считать, что нанесение защитного слоя на внешнюю поверхность бетона устраняет встречную диффузию, но не устраняет градиент концентрации на границе раздела «бетон — окружающая среда», Следовательно, любое нарушение

Для того чтобы установить роль поверхности геля, нами в трех пробирках был приготовлен одинаковый гель, сверху которого был залит 1 моль·л⁻¹ раствор хлористого кальция. За 30 дней кристаллы в геле прекратили зарождаться и расти. Целью данного эксперимента было, исключив все процессы, перевести поверхность геля из статического состояния в динамическое, т.е. искусственно вызвать дополнительное образование полостей внутри геля. Поэтому одну из пробирок поместили в ультразвуковую ванну на две минуты. Воздействие ультразвука вызвало массовое дополнительное зародышеобразование по всему столбу геля (рис. 7). Кроме этого оказалось, что если в пробирку на поверхность геля поместить гирику в 10 грамм, это тоже приводит к дополнительному зародышеобразованию.

По результатам данных экспериментов можно сделать вывод, что в начальный момент времени, когда исходные реагенты разнесены в пространстве, на границе раздела гель–раствор возникает градиент концентраций. Он стимулирует встречную диффузию исходных реагентов в геле. В свою очередь, диффузия исходных реагентов приводит к изменению поверхностного натяжения в двухфазной системе, состоящей из двух или более компонентов (в геле), и тем самым приводит к эффекту Ребиндера. Благодаря эффекту Ребиндера статическая поверхность геля становится динамической, т.е. идет изменение площади раздела двух фаз, которая приводит к образованию полостей. Кроме того, изменение площади раздела двух фаз может перераспределять

защитного слоя может привести к началу процесса разрушения бетона. Дополнительным способом понизить этот градиент концентраций может стать внедрение эффективных климатических систем.

Представляет интерес с позиций этой модели рассмотреть процесс обрушения крыши «Трансвааль-парка» из пористого бетона. Если при изготовлении крыши использовался химико-технологический процесс гидратационного твердения кальцийалюмосиликатных и других цементов, который используется в производстве строительных материалов, тогда можно предположить, что ошибки в проекте системы вентиляции или в ее эксплуатации вызвали на границе раздела «бетон - внутренний воздух здания» большой градиент концентраций. Встречная диффузия изменила поверхностное натяжение в бетоне и вызвала эффект Ребиндера, который привел к образованию полостей в куполе, что могло привести к потере прочности конструкции, а это, в свою очередь, к изменению горизонтальных нагрузок на колонну. А скопившийся снег на крыше только ускорил процесс разрушения крыши с последующим ее обрушением. Следует отметить, что образование полостей в геле идет без изменения формы и объема геля. Время образования полостей зависит от самого медленного процесса – диффузии. Следовательно, срок эксплуатации сооружения - два года – был вполне достаточен для разрушения бетона при высоком градиенте концентраций. Поэтому нет ничего удивительного в том, что свидетели обрушения говорили, что бетон крошился в руках.

Следует отметить, что предложенная модель не противоречит представлению о коррозионных процессах в бетоне по В.М. Москвину, а только дополняет это представление и показывает, что это направление еще очень мало изучено.

Если в этой модели учесть такие процессы как сорбция, катализ, деструкция твердого вещества, то можно ожидать, что в помещениях с недостаточным воздухообменом должны фиксироваться химические соединения, которых нет в приточном воздухе, изначально нет в строительных и отделочных материалах, не выделяются людьми, мебелью и т.д. Другими словами, химическое соединение фиксируется, а источник его не известен. Профессор Энно Абель (Высшая Техническая Школа Чалмеш, Гётеборг, Швеция) в личной беседе подтвердил, что такие случаи имели место.

Следует отметить, что метод выращивания кристаллов в гелях рассматривает образование кристаллов не только в гелях на основе метасиликата натрия, но и в других средах. И этот процесс имеет множество других отрицательных последствий.

Например, существует проблема с запахами от «неправильно обслуживаемого кондиционера», что связано не с поступлением дурнопахнущих веществ в кондиционер, а именно с их образованием в процессе химических и биологических процессов в гидрогеле, который образуется в процессе эксплуатации в поддоне кондиционера. Для устранения причин появления запахов дополнительно в систему автоматизации кондиционеров вводятся специальные технологические режимы просушки и бактерицидной обработки, теплообменных поверхностей и поддонов. Разработаны и при квалифицированном обслуживании применяются специальные технологии обработки внутренних поверхностей оборудования.

Среди нежелательных проявлений процесса образования кристаллов является случайный их рост в пищевых и технических продуктах, например, льда в мороженом, тартратов в сыре, серы в резине, солей цинка в сухих элементах. Об образовании биоминералов в организме человека мы говорили в предыдущих статьях.

Литература

1. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). Учебник для вузов. М., 1979.
2. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. М., 1982.
3. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на организм человека // Инженерно-строительный журнал, №1/2009. СПб, 2009.
4. Алесковский В.Б. Стехиометрия и синтез твердых соединений. Л., 1976.
5. Гошка Л.Л. Климатические системы и образование патогенных биоминералов в организме человека // Инженерно-строительный журнал, №2/2009. СПб, 2009.
6. Гениш Г. Выращивание кристаллов в гелях. М., 1973.
7. Гошка Л.Л., Рузов В.П. Исследование процессов роста кристаллов в гелях. Сыктывкар, 1983.

**Леонид Леонидович Гошка, ООО «Кола», г. Сыктывкар*

Тел. раб.: (8212) 29-10-24, факс: (8212) 24-44-10

Эл. почта: tookola@mail.ru