

«Физико-химические свойства защитной композиции KALMATRON®»

Защитная композиция KALMATRON® предназначена для восстановления прочностных и антикоррозионных свойств бетона, железобетона и кирпичной кладки. Теоретические основы этой разработки и лабораторные исследования были начаты в 1982 году в лаборатории Академии Транспорта (г. Хабаровск, СССР) и полностью завершены в 1988 году в Институте Строительной Физики (г. Москва). Широкое индустриальное производство и применение состава KALMATRON® начато в 1992 году в Хабаровске. Область применения его широка благодаря доступности использования как в виде добавки в бетоны и растворы, так и в качестве защитного покрывочного слоя. Одно из отличительных свойств: простота технологии подготовки конструкций, что весьма существенно для ремонта бетонов.

Восстановление свойств бетона

Ремонт и восстановление бетонных конструкций является новой областью науки о бетоне. На стыке физики, химии и математики рождается почти медицинский аналог проблемы регенерации структуры. Именно в этот период появляются первые гипотезы, практические решения и множество разночтений в сущности одних и тех же нерегулируемых процессов созревания и старения бетона. И всякий раз, как только исследователям удается найти очередной “философский камень”, так оказывается, что с его помощью проблемы только оттачиваются и могут быть справедливы только для искомого решения [1; 5].

И наша работа не является исключением. KALMATRON®, созданный усилиями трех лабораторий, работает в ограниченных пределах возможностей, заложенных в его формуле. Суть её сводится к простой эстафете реакций смещения фаз цементного камня: - проникнуть в старый бетон - растворить всё то, что поддается растворению в любой степени - распределиться в свободном объеме тела бетона, а затем затвердеть единым монолитом.

Как известно [3], тяжелому бетону для приобретения свойств долговечности недостаточно времени полноценного созревания структуры. Это время есть в резерве сроков эстафетных реакций, начиная с гидратации цемента. Представление о процессах восстановления бетона заключается в растворении исходных метастабильных вяжущих. Скорость и объем растворения зависит от энергетических характеристик растворителя и степени разрушения связей между вяжущим и заполнителем. Продукты растворения образуют пересыщенные растворы, из которых образуются более термодинамически устойчивые гидратные новообразования. Эти гидратные новообразования характеризуются меньшей растворимостью, большей площадью поверхности и высокой плотностью [4].

Очевидно, что создание универсальной защитной композиции невозможно, поскольку в зависимости от начальных характеристик, условий эксплуатации и возраста на момент ремонта бетон имеет непредсказуемую степень износа. А поскольку невозможно статистически устойчиво оценить хотя бы удельные соотношения кристаллических и аморфных фаз в цементном камне, то это лишает нас возможности создать аппарат расчета с достоверной вероятностью межремонтной долговечности для нециклических процессов [1; 4].

Требования к защитным композициям покрывочного типа

1. Защитная композиция должна иметь свойство совместимости с материалом защищаемой конструкции. Таким образом, композиция должна стать свойством материала и не зависеть от его начальных характеристик.
2. Защитная композиция должна иметь свойство функциональной проницаемости для обеспечения влажностного и температурного равновесия бетона или раствора конструкции с внешней средой и в тоже время обеспечивать конструктивную непроницаемость для агрессивной среды.
3. Свойства защитной композиции должны быть равномерно распределены относительно площади или объема защищаемой конструкции.

Совместимость KALMATRON® с бетонами и растворами

Совместимостью защитных композиций с защищаемым материалом называется свойство образовывать в результате их реакций продукт с реологическими свойствами, подобными защищаемому материалу.

Сольватная теория процессов твердения цементного камня [3; 7] хорошо описывает причины его несовершенств, заключающиеся в цепной незавершенности реакций гидратации. Затвердение цементного теста происходит за одну стадию, а реакции растворения вяжущего и его схватывания в удельном объеме смеси протекают эстафетно. Именно поэтому в бетоне присутствуют продукты незавершенных фазовых состояний (рис.1), которые по своей физической природе могут сосуществовать только в условиях стабильного гигротермического равновесия со средой. В реальных условиях стабилизация завершается разрушением бетона [6].

Задача догидратации вяжущего в бетоне была в основе нашего исследования, что обеспечило совместимость состава KALMATRON® с бетонами. Кристаллохимическое подобие бетону обусловлено реагированием электролитов с продуктами пост- и межфазовых состояний цементного камня (фазовый спектр цемента, продукты карбонизации и минеральные растворы). Создание последовательных реакций *проникновения, растворения и докристаллизации* осуществимо только в зрелой капиллярно-пористой системе, где нет влияний хемисорбции воды, растворов солей, экзотермических процессов и активного выделения газов.

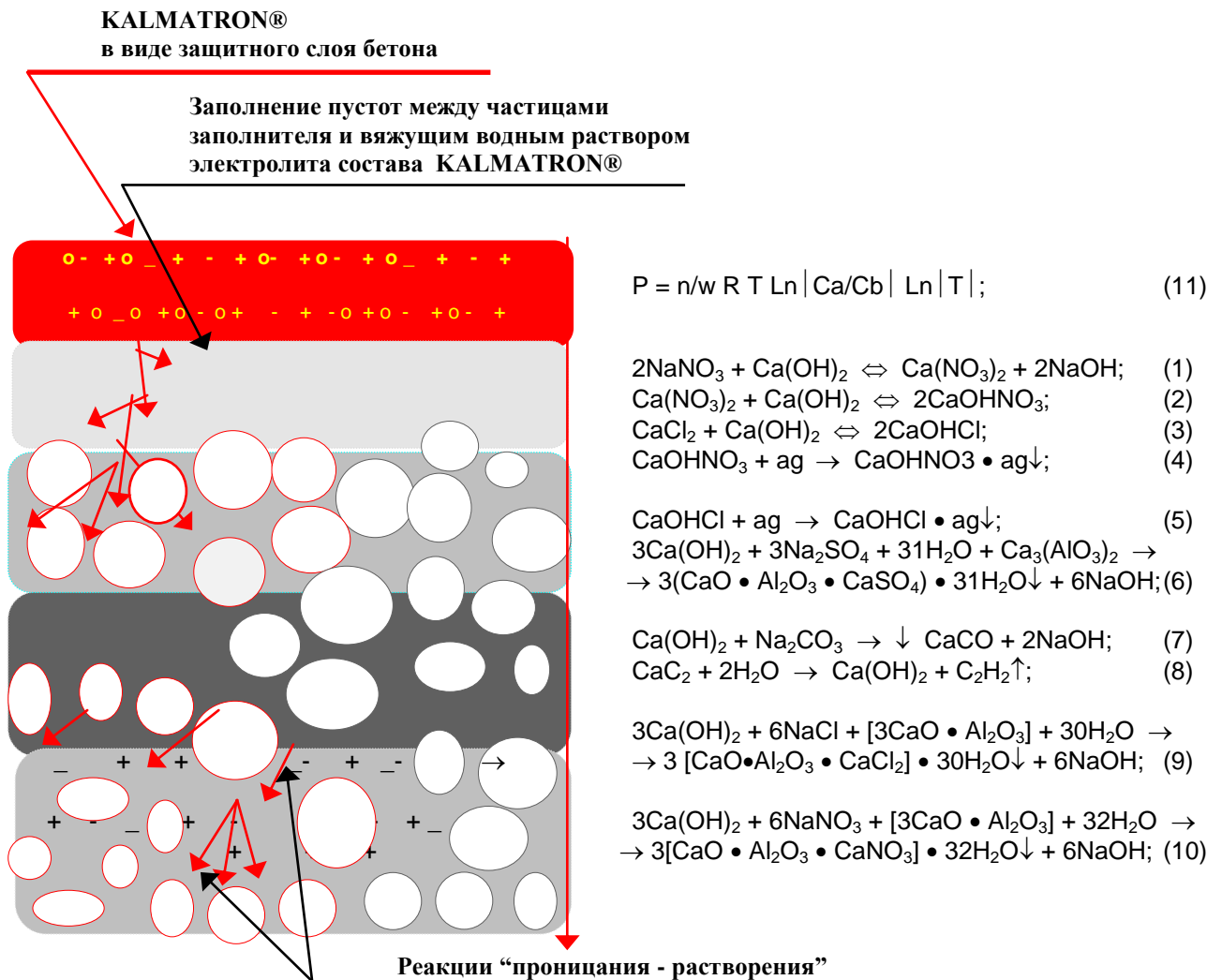


Рис.1 Схема взаимодействия KALMATRON® с бетоном, где:

- твердая фаза структуры с капиллярно-пористой системой;
- кристалло-аморфные образования геля цементного камня;
- аморфные и жидкие фазы геля цементного камня;
- заполнитель бетона в оболочке электролита KALMATRON®.

Идеализируя структуру бетона (рис.1), рассмотрим взаимодействие электролитов с различными фазами цементного камня, распределенными по глубине от поверхности испарения в зависимости от стадии высыхания. KALMATRON®, нанесенный на поверхность старого бетона в виде пластичного слоя раствора, проникает в бетон силами капиллярного подсоса и осмотической диффузии. С его проникновением связано повышение растворимости алита и белита в 5 - 14 раз, продукты диссоциации которых гидратируют и кристаллизуются в области твердой фазы, создавая новообразования труднорастворимых групп гидроксонитрата и гидроксохлорида кальция (уравнения 1 - 5 на рис.1). Заполнение пор и полостей в бетоне дисперсными пластинчатыми кристаллами гидроксолей с громадной площадью поверхности обеспечивает его непроницаемость воде, а также жидкостям с высокой поверхностью раздела (щелочи, кислоты, нефть и ряд ее продуктов).

Достигая области кристалло-аморфных фаз, раствор защитного состава осложнен анион-катионными избытками прежде диссоциировавших минералов (уравнение 5). Здесь наблюдается разложение этtringита на алюминатно-кальциевые составляющие, в последствии образующие гидросульфаты кальция и алюминаты с выделением воды и катионов натрия. Влияние натрия состоит в увеличении ионной силы внутриводного раствора и стабилизации окислов на арматуре. Также это обеспечивает длительную проницаемость раствора, повышение прочности структуры бетона малорастворимыми прочными кристаллами трехкальцевого гидрата сульфалюмината (уравнение 6), гидроксохлоралюмината кальция (9) и гидроксонитроалюмината кальция (10) и устойчивую защиту арматуры от коррозии гидроксидом натрия (6, 7, 9, 10).

При осаждении растворов на стенки пор образуются игольчатые кристаллы гидроксоалюмината кальция (9) и пластинчатые гидроалюмината натрия (10), развитие которых по оптической оси приводит к срастанию кромок микрополостей. Этот эффект носит название "самозалечивание" дефектов структуры бетона (рис.2).

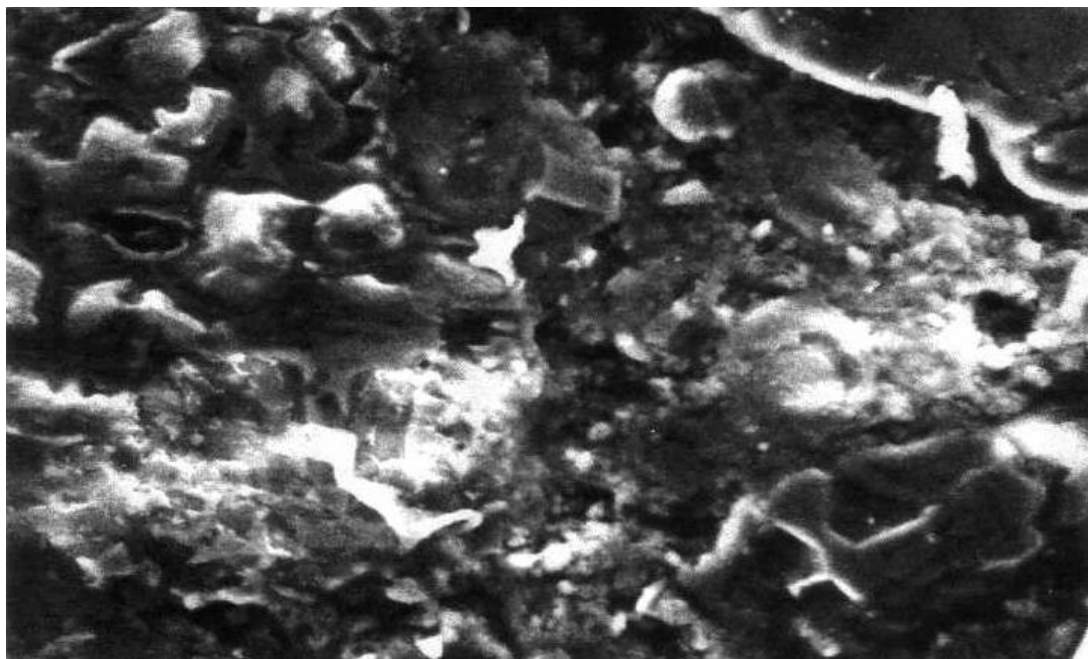


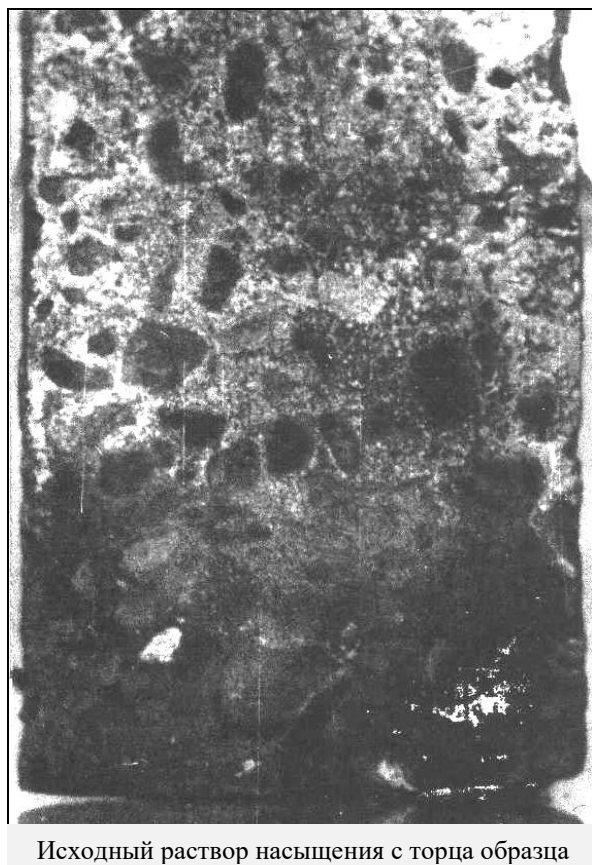
Рис.2. Микрофотография аншлифа X600 диффузионной области бетона с KALMATRON®, где видна однородность структуры без характерных трещин и полостей. Округлые монолитные поверхности кристаллов – результат растворения и полной рекристаллизации вяжущего в бетоне.

Таким образом, проникание защитной композиции в структуру бетона, растворение фазовых продуктов цементного камня и глубинная кольматация пор и полостей позволяет восстановить свойства бетона однородным ему материалом. Совместимость KALMATRON® с бетонами обусловлена его кристаллохимическим происхождением из продуктов пост- и межфазовых состояний цементного камня.

Проницание KALMATRON® в бетоны

Безусловно, обеспечение совместимости KALMATRON® с бетонами возможно при надежной способности проникания его жидкой и газообразных фаз в капиллярно-пористую структуру бетона.

В сущности, проницание растворов электролитов в бетон определяется как "осмотическое смачивание структуры" с расслоением раствора на отдельные растворы с разными концентрациями согласно ситовому эффекту.



Исходный раствор насыщения с торца образца

Область ионной проницаемости
бетонной структуры

Область молекулярной
проницаемости бетонной структуры

Рис.3. Поверхность распила бетонного цилиндра, насыщенного раствором с торца.

На рис.3 показан высушенный распил бетонного цилиндра, прежде насыщенного раствором с нижнего торца. Хорошо видно, что область подсоса внизу не содержит солей, а выше нее видна зона активного высола.

Таким образом, возможность расслоения раствора по областям молекулярной (для воды и слабых растворов) и ионной проницаемости обеспечивает глубокое внедрение KALMATRON® в структуру бетона. Для бетонов плотностью до 2200 кг/куб.м глубина проникновения составляет не менее 150 мм, а для бетонов с плотностью 2400 кг/куб.м эта величина в пределах от 5 мм до 28 мм. Этот эффект позволяет избежать традиционной подготовки конструкции зачисткой до структурно чистой поверхности. Достаточно смачивания поверхности водой.

Непроницаемость KALMATRON® агрессивным средам

Представления о непроницаемости капиллярно-пористых тел обычно связывают с достижением максимального заполнения пор как с поверхности (обмазочная и оклеечная изоляции), так и вовнутрь поровой системы (торкрет, инъекция и кольматирующие составы). Однако при полной изоляции капиллярно-пористой системы величины осмотического и кристаллизационного давлений (11) достигая значений 2×10^7 н/кв.м (200 атм.) в бетоне, содержащем конструкционную влагу, могут быть причиной катастрофических последствий, если поры бетоны не открыты на атмосферу. Аналогично дело обстоит и с кольматирующими методами, если используемые композиции после заполнения пор сразу твердеют, подобно гипсоидам или кремнеземам. Поэтому очень важен вопрос о времени и глубине проницаемости KALMATRON® в структуру бетона.

На рис.4 показано силовое влияние осмотического давления при диффундировании диссоциирующих солей в цементном камне, в общем виде описываемое уравнением Вант-Гоффа для осмоса (11).

$P_i \rightarrow 0; P_j < 0; P_k > 0$ - осмотические давления, ориентированные по области существования осмотической диффузии.

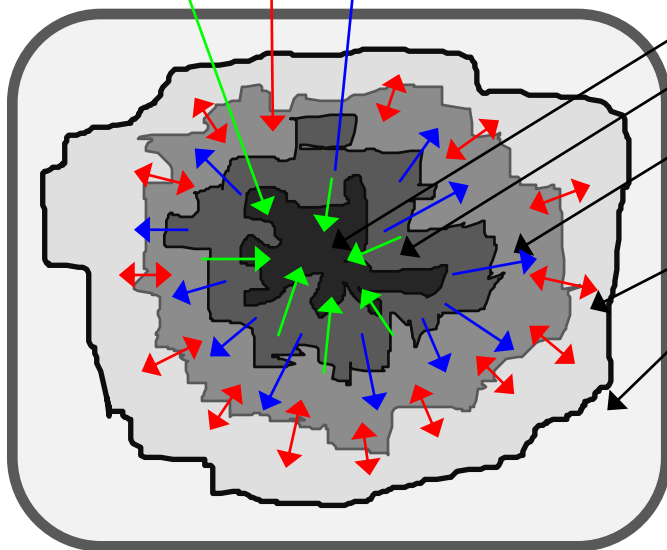
$$P = n/w \cdot R \cdot T \cdot \ln |V_a/V_b| \cdot \ln |C_a/C_b| \cdot \ln |T| = \mu \cdot \ln |V_a/V_b| \cdot \ln |C_a/C_b| \cdot \ln |T|; \quad (11)$$

где: n - число молей растворенных солей;
 w - объем растворителя;
 R - универсальная газовая постоянная;
 T - температура среды;

μ - химический потенциал;
 V_a/V_b - отношение исходного и конечного содержания воды;
 C_a/C_b - отношение исходной и конечной концентраций раствора.

P_k P_i P_j

Рис.4. Модель единицы удельного объема зрелого бетона, где:



- 1 - гель цементного камня;
- 2 - область образования первичного этtringита;
- 3 - область созревания алита, белита и системы микрокапилляров;
- 4 - упорядоченная кристаллическая структура;
- 5- регулярная капиллярно-пористая структура.

При диффундировании раствора KALMATRON® с внутрискруктурной водой в областях 4 и 5 вода, как диамагнитная среда, потеряет дипольную ориентацию молекул вследствие диссоциации разноименных зарядов. Т.е. исчезнет ее диамагнитная упругость. Это вызовет ослабление ее расклинивающего воздействия на стенки пор и капилляров (электролитическая релаксация структуры цементного камня), а концентрации растворов быстро уравниваются. “Прочность” при испытаниях “снижается”, а непроницаемость бетона остается неизменной, т.к. поры еще не заполнены новообразованиями и реактивное давление в них равно нулю:

$$P_i = \mu \ln |V_h/V_f| \ln |C_1/C_2| \ln |T| = 0, \quad \text{т.к. } C_1 = C_2; \quad (12)$$

“Отрицательные” показатели прочности при испытаниях на 28 суток таким образом не более чем часть процесса, при котором набирается истинная прочность бетона. Дальнейшие наблюдения показывают увеличение ее на 25%-30%.

При диффундировании в область 2, где происходит накопление солей в гелевых порах, концентрация внутрискруктурных растворов C_2 возрастает, что вызывает осмотическое обжатие структуры отрицательным давлением P_k . В этом случае непроницаемость и “прочность” возрастают, т.к. реактивное давление на стенки пор имеет отрицательную величину:

$$P_k = \mu \ln |V_h/V_f| \ln |C_1/C_2| \ln |T| < 0, \quad \text{т.к. } C_1 < C_2; \quad (13)$$

В области 3, где происходит активная рекристаллизация, на первом этапе диффузии выравниваются концентрации до состояния (12), но параллельно происходит растворение нестабильных фаз, включая малорастворимые соли по схеме:



С этого момента времени, когда произошел обмен катиона А на анион В, растворение начального связующего завершено, что обуславливает повышение концентрации исходного раствора C_1 , и тогда осмотическое давление создает растягивающие напряжения в структуре цементного камня, вызывая резкое “повышение прочности” до 50% и непроницаемости в области 3, т.к. плотность заполнения пор возрастает:

$$P_j = \mu \ln |V_h/V_f| \ln |C_1/C_2| \ln |T| > 0, \quad \text{т.к. } C_1 > C_2; \quad (15)$$

Очевидно, наиболее опасными являются границы областей, испытывающие растягивающие усилия от взаимно противоположных реактивных усилий. Именно поэтому использование неуровновешенных композиций для повышения непроницаемости бетона через 3 - 5 лет вызывает разрушение конструкций. Так же как изолирующие слои высокой плотности, даже химически

нейтральные по отношению к бетону, опасны для его надежности неуправляемым влиянием внешней температуры. Температура, в экспоненциальном искажении $\ln|T|$ в (15), посезонно расшатывает структуру до внезапного разрушения.

Стабильность характеристик бетона обязана неустойчивому равновесию взаимонапряженных фаз цементного камня. Из этого следует, что нельзя опираться на краткосрочные данные о повышении прочности незрелых структур, получаемые при испытаниях бетона с любыми добавками, поскольку силовое влияние осмотического и кристаллизационного давлений знакопеременно во времени и зависит от гигротермического равновесия с внешней средой.

Слабая корреляция между прочностью и непроницаемостью бетона, как показано выше в уравнениях (12, 13, 15), облегчает работу по повышению непроницаемости. Эта задача состоит в оценке разницы осмотических давлений на границах фаз и скорости образования кристаллических зародышей.

Очевидно, что водонепроницаемость обеспечивается созданием в бетоне областей молекулярной и ионной проводимости (рис.3). Это достигается путем гипертрофирования объема гелевой составляющей цементного камня ионами сильных электролитов, деагулирующими гель (реакции 4 - 6 на рис.1), который обеспечивает ситовый эффект для ионно-молекулярных растворов.

Непроницаемость жидкостям с высокой поверхностью раздела - щелочам, кислотам и нефтепродуктам, может быть обеспечена либо присутствием газов в капиллярно-пористой системе бетона (эффект Жамена - реакция 8), либо противопоставлением площади поверхности жидкости суммарной площади поверхности всей системы. Таким образом, более существенным является тип кристалла новообразования в порах бетона и не важно для непроницаемости, насколько плотно они заполнены - площадь поверхности смачивания важнее объема заполнения пор.

Реакции 9 и 10 описывают образование гидроксохлоралюмината кальция (кристаллогидраты игольчатого типа) и гидроксохлоралюмината натрия (кристаллогидраты пластинчатого типа). Развитие этих типов кристаллов вдоль оптической оси в порах бетона невозможно, так как в стадии созревания прочность их невысока, и они либо разрушаются о стенки пор, либо меняют направление роста - что важно для долговечности и безопасности восстанавливаемой конструкции.

В теории кристаллизации показано, что скорость образования кристаллических зародышей в единице объема зависит от степени перенасыщения $C1/C2$, но и в не меньшей степени - от величины удельной межфазной энергии μ , определяемой описанием химического потенциала (16) всей термодинамической системы:

$$\mu = n/w \cdot R T \ln|V_h/V_f| < 0 \Rightarrow V_h \ll V_f, \quad (16)$$

величина которого хорошо регулируется количеством молей растворенных солей электролита n и объемом внутриводной влаги V_h . При подстановке (16) в (15) легко рассчитать величину напряжений, создаваемых осмотическим давлением и кристаллическими зародышами, полученными из растворенных продуктов клинкера старого цементного камня. Сопоставления расчетов с экспериментальными данными показали узкую область допустимых величин ионной силы для бетонов и позволили установить корреляционную связь между химическим потенциалом водного раствора защитной композиции и проницаемостью бетона.

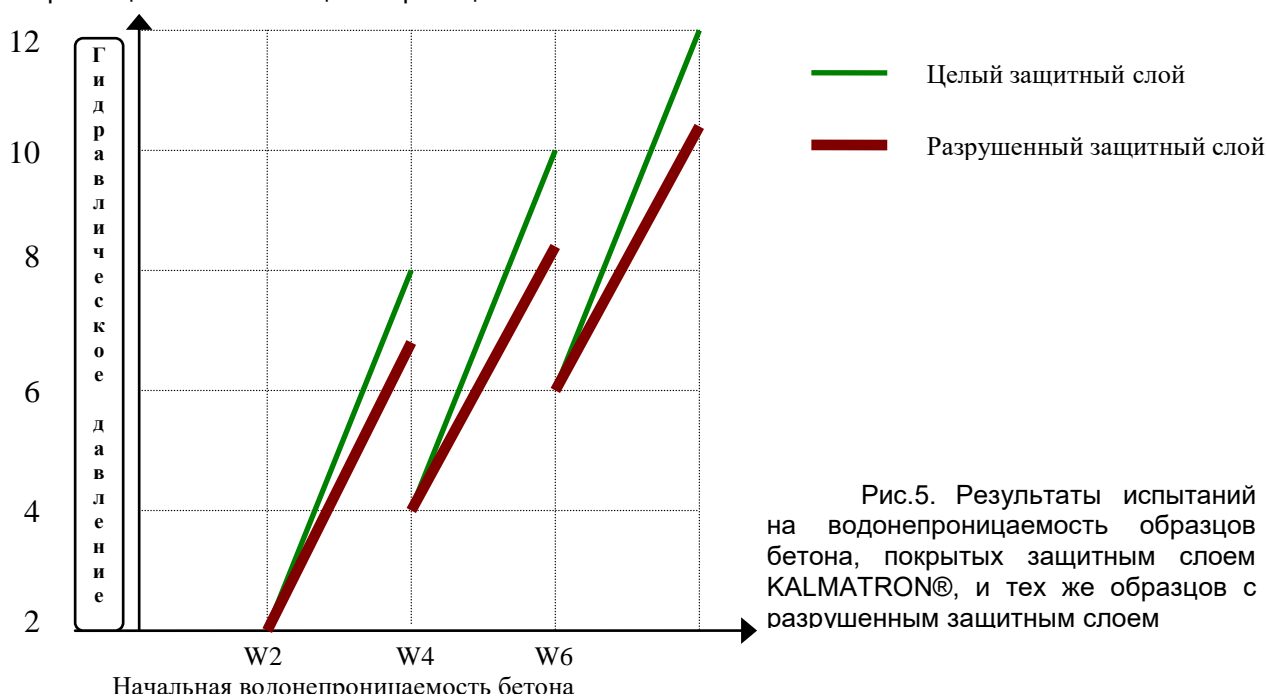


Рис.5. Результаты испытаний на водонепроницаемость образцов бетона, покрытых защитным слоем KALMATRON®, и тех же образцов с разрушенным защитным слоем

Установлено, что KALMATRON® хорошо повышает непроницаемость бетона, имеющего либо развитую пористую структуру, либо дефекты силового, коррозионного или температурно-усадочного типа. Причем, поскольку этот состав обладает высокой проницаемостью в бетон, то целостность покрывочного защитного слоя необязательна, что немаловажно для конструкций, поверхности которых испытывают разрушающие механические или гидравлические воздействия.

На рисунке 5 приведены графики результатов испытаний бетона на водонепроницаемость. Образцы из бетонных классов по непроницаемости W2, W4 и W6 с размерами H=300(мм), D=150(мм) покрывались водным раствором KALMATRON® в виде пластичного слоя толщиной 5 мм.

После выдержки в нормальных условиях в течение 12 часов образцы устанавливались в стандартный гидравлический пресс карусельного типа и испытывались при ступенчатом повышении давления по 2 атм. от 2 атм. до 12 атм. Выдержка каждой ступени составляла 4 часа. По окончании стандартных испытаний с образцов счищались защитные слои, и они снова испытывались.

Однородность KALMATRON® с бетоном

Изотропия бетона невозможна потому, что с дегидратацией происходит распад структуры по фазовому спектру от твердого тела до газов изнутри к поверхности в течение всего времени работы конструкции. Поэтому разрушение его происходит как бы послойно - с поверхности внутрь. Эта редкая для бетона закономерность позволяет исследователям разрабатывать технологические методы восстановления. В остальном зависимость бетона от состояния внешней среды, уровня и характера загрузки не оставляет сомнений в полезности общепринятых представлений и условностей.

Параметрическим показателем однородности может быть любая реологическая характеристика, но наиболее удобной для практического наблюдения является плотность бетона. Уравнение (17) в общем виде дает представление о параметрической зависимости плотности от процессов естественного созревания или принудительного дозревания структуры:

$$Dt = - \frac{\mu}{\sigma} \ln |C1/C2| \ln |T|; \quad (17)$$

где: Dt - плотность структуры как функция времени (кг/куб.см);
 μ - химический потенциал водного раствора химической добавки (Дж);
 σ - напряжения, создаваемые силами поверхностного натяжения в бетонной смеси или кристаллическими новообразованиями в структуре бетона (кг/кв.см);
Ca - концентрация химической добавки в бетоне (кг/кг);
T - температура внешней среды (град. Кельвина).

Проинтегрировав по двум переменным $\mu_{1,2}$ и $\sigma_{1,2}$, получим:

$$Dt = - 0.5 (\mu_2^2 - \mu_1^2) \ln |\sigma_2 / \sigma_1| \ln |C2/C1| \ln |T| = - 0.5 (\mu_2^2 - \mu_1^2) E \ln |\delta| \ln |C2/C1| \ln |T|; \quad (18)$$

где: δ - абсолютные деформации усадки структуры,
E - модуль упругости бетона.

Любые теоретические изыскания механизма оценки изменения плотности D описываются усадкой δ . Усадка вызывается потерей воды в бетонной смеси на гидратацию и испарение:

$$Vh = e \frac{|\mu/m R T + \ln |Vf| |}{\dots} \rightarrow 0; \quad (19)$$

где: Vf - общее количество воды в бетонной смеси;
Vh - остаток воды в бетонной структуре;
m - масса химической добавки.

С убыванием остатка воды Vh появляются пленки продуктов гидратации, которые образуются вокруг зерен связующего. В цементе такими пленкообразующими соединениями являются гидросульфат алюминат и гидросиликат кальция.

Образование оболочек из высокодисперсных гидратированных продуктов является причиной выравнивания скорости гидратации. Согласно (19) объем гидратированного продукта больше объема эквивалентного количества исходного, в образовавшейся оболочке вокруг зерен накапливаются напряжения, которые вызывают частичное разрушение зерен. При этом происходит усадка цементного камня. Вода попадает в разрушенные оболочки, растворяет негидратированное связующее, образуя новые кристаллические связи между частицами и новые кристаллические пленки вокруг негидратированного связующего. Возможность наблюдения этого процесса связана с триггерным механизмом релаксации напряжений (рис.6).

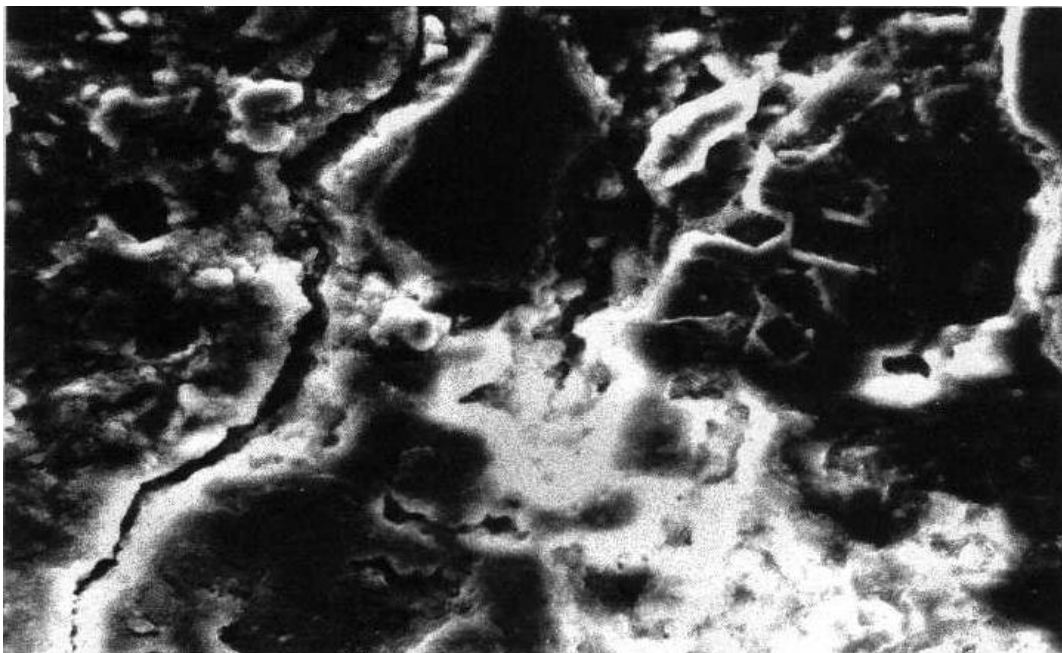


Рис.6. Микрофотография X600. При накоплении напряжений внутри оболочек происходит «залп» из множества лопнувших оболочек; релаксация напряжений происходит за счет образования системы трещин в значительном объеме материала.

Таким образом, усадка как колебания размеров цементного камня является результатом последовательного действия двух процессов: процесса кристаллизации новообразований, который ведет к периодическому увеличению объема, и процесса разрушения кристаллических контактов и пленок, который ведет к периодическому уменьшению объема - усадке. Выровнять скорость гидратации, т.е. сохранить монотонность уравнения (18) невозможно, поскольку всегда начальная ионная сила жидкого раствора больше ионной силы продуктов фаз, что согласно (18), является причиной появления межструктурной - "отрицательной плотности": трещин, пустот и расслоений:

$$\mu_1 > \mu_2 \Rightarrow -D \quad (20)$$

Из (17) следует, что линейное увеличение плотности может быть достигнуто одновременным возрастанием ионной силы раствора μ с убыванием сил поверхностного натяжения σ . Но это более философский вопрос о причине и следствии, чем практическая задача физики твердого тела.

Из (18) следует:

$$\ln|\delta| = -0.5 D^{-1} (\mu_2^2 - \mu_1^2) E \ln|C2/C1| \ln|T|; \quad (21)$$

что дает ориентацию на достижение слабых деформаций усадки путем увеличения объема кристаллизационной составляющей в фазовом спектре бетонной структуры. И это достигается увеличением структурной плотности бетона D за счет полноты реакции гидратации. Но на практике это уравнение работает для высоко алюминатных цементов с дисперсией помола не более $0.5 - 0.09A^\circ$. Для средне- и низкоалюминатных цементов и грубых помолов приходится вводить многочисленные лабораторные коэффициенты, что зачастую приводит к результатам, осложняющим применение на практике.

Итак, все сводится к скорости и полноте гидратации зерен цемента. В уравнениях (1) - (4) приведены реакции диссоциации, ослабляющие связи в первичных коллоидах гидрохлоралюмината кальция и натрия. Это позволяет пролонгировать поступление воды через гидратные пленки к негидратировавшему зерну цемента и повысить объем гидратации на 20-30%. Этими же величинами оценивается снижение усадки в сравнении с обычным бетоном.

Заключение

В настоящем обзоре возможностей защитной композиции KALMATRON® отражены физические положения ремонта и восстановления бетонов, требующие некоторых обобщений. Опыт защиты конструкций до сих пор является уникальным ввиду бессистемного характера развития [2]. Такая же проблема существует с выбором защитных композиций, область применения которых определяется по результатам стандартных лабораторных испытаний или на основании сравнительного анализа свойств нескольких композиций.

Но и этого недостаточно, поскольку приемлемость выбора должна опираться на реальное состояние конструкции, оценить которое возможно при обследовании на предмет оценки износа и ремонтпригодности. Самое существенное, однако, состоит в том, что, несмотря на существующие предубеждения среди строителей, закон сохранения энергии неукоснительно работает и тут:

1. Повышение долговечности восстановленных бетонных конструкций оценивается только достижением нормативного периода межремонтной долговечности. Как любое гетерогенное тело, бетон отторгает инородные включения. Особенно ярко это проявляется в полимербетонах, фибробетонах и любых изоляционных покрытиях нецеолитного происхождения.
2. Возрастание прочности на сжатие, изгиб и разрыв от введения любых композитов в бетонную смесь наблюдается только во время равновесия фаз цементного камня. Это равновесие может быть нарушено изменением внешней температуры, влажности или динамической нагрузки.
3. Непроницаемость, сопоставимая с долговечностью бетона, достижима при наличии в структуре максимально большой поверхности смачивания. Заполнением пор можно добиться высоких внутрискруктурных давлений и раннего разрушения структуры.
4. Различные обобщающие представления и условности теории прочности бетона обоснованы хорошей многолетней статистикой испытаний и наблюдений. Но при разработке теоретических основ долговечности и восстановления свойств бетона мы сталкиваемся с почти биологической моделью поведения его в среде, где есть и полупроницаемые мембраны-оболочки [1], электроосмотические автономные процессы [7], диффузионный катализ [3], регенерация и ассоциация элементов, элементарные и макроскопические новообразования - полный список процессов в органической клетке. Только с очень низкой скоростью. И только поэтому редакционный перенос положений теории прочности на проблему долговечности бетонов приводит эту теорию в тупик, давая широкое поле деятельности случайным результатам и частичному видению процессов.

Результаты многочисленных испытаний показывают прямую зависимость работы композиции от начальных свойств бетона. Чем выше начальные характеристики бетона, тем ниже эффективность проявления KALMATRON®. Но чем беднее рецептура бетонной смеси, тем ярче проявляются каталитические и регенерирующие свойства KALMATRON®. Результаты обследований производственных и гражданских объектов в России, США, Австралии, Китае и других странах, на которых проводились в последние годы ремонтно-восстановительные работы с использованием состава KALMATRON®, также полностью подтверждают данные выводы.

Создание композиции и технологии KALMATRON® является наиболее полно реализованным на практике направлением по регенерации старых бетонов. Конечно, возможности композиции ограничены ремонтпригодностью бетона и не решают всех задач проблемы ремонта и восстановления бетонов. Но полученные уже в настоящее время практические результаты позволяют с полной уверенностью утверждать о несомненных преимуществах этой разработки и перспективности ее дальнейшего совершенствования и развития.

REFERENCES

1. S.V.ALEXANDROVSKY, The creep of concrete. Moscow. 1975
2. P.H. EMMONS, A.M. VAYSBURD, Long-term durability of concrete repairs under severe environments, Structural Preservation Systems, Inc., Baltimore, MD, USA, pp. 709-716.
3. P.C. KREIJEGER, Inhomogeneity in concrete and its effect on degradation: a review of technology, Protection of concrete, Conference of Dundee, Scotland, UK, p.p. 31-52 (11-13 September, 1990)
4. A.M. NEVILLE, Properties of concrete, New York, 1993.
5. A.M. VAYSBURD, Some Durability Considerations for Evaluation and Repairing Concrete Structures, Structural Preservation Systems, Inc., Baltimore, pp.29-35,(1993).
6. G. VERBECK, Cement hydration reactions at early ages, J.Portl. Cem. Assoc. Research and Development Laboratories, 7, No.3 pp. 57-63 (Sept. 1965).
7. A.V.RUSINOV, The phenomena of osmotic oscillator by absorption of the atmospheric salt solutions by surface layers of exterior building walls. Collection of scientific works. Khabarovsk Railway Engineering Institute, Russia, pp. 59-63, (1988).
8. A.V.RUSINOV, Exterior Walls In Extreme Climates, Protection of concrete, Conference of Dundee, Scotland, UK, p.p. 541-547 (11-13 September, 1990).