

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ / CONSTRUCTION MATERIALS

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2021.22.1>

ТВЕРДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА: МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

Научная статья

Пшеничный Г.Н. *

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

* Корреспондирующий автор (pgn46[at]mail.ru)

Аннотация

Существующая схема твердения строительного гипса, предусматривающая растворение вяжущего вещества, химическое взаимодействие реагентов, пересыщение поровой жидкости новообразованиями, выпадение и сращивание кристаллов, не отражает сущность реального процесса. Известно, что гидратация гипса имеет обратимый характер, т.е. затвердевший гипсовый композит технологически просто перевести в исходное вяжущее состояние. Как следствие, речь должна идти не о химическом, а исключительно физическом характере взаимодействия реагентов путем адсорбционного связывания твердой фазой ассоциированной жидкой среды. Приведена динамика ряда сопровождающих твердение строительного гипса свойств (пластической прочности, температуры твердения, объемных деформаций), логически вписывающихся в разработанную гидратационную схему.

Ключевые слова: строительный гипс, производство, гидратация, структурообразование, твердение, объемные деформации.

CONSTRUCTION GYPSUM HARDENING: MYTHS AND REALITY

Research article

Pshenichnyj G.N. *

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

* Corresponding author (pgn46[at]mail.ru)

Annotation

The existing scheme of building gypsum hardening, which provides for the dissolution of the binder, chemical interaction of reagents, supersaturation of the pore fluid with new formations, precipitation and coalescence of crystals, does not reflect the essence of the real process. It is known that the hydration of gypsum is reversible, i.e., it is technologically simple to transfer the hardened gypsum composite to its initial drying state. As a consequence, we should not talk about the chemical, but only the physical nature of the interaction of reagents by adsorption binding of the solid phase of the associated liquid medium. The dynamics of a number of properties accompanying the hardening of building gypsum (plastic strength, hardening temperature, volume deformations), which logically fit into the developed hydration scheme, is presented.

Keywords: construction gypsum, production, hydration, structure formation, hardening, volume deformations.

Рассмотрим гидратационный и структурообразующий процесс одного из древнейших и простейших минеральных вяжущих веществ – гипсового связующего. Без малого полтора столетия назад А.Л. Ле-Шателье дал, казалось бы, исчерпывающее пояснение данного аспекта, представляя отвердевание полуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) путем возникновения кристаллического сростка выпадающих из пересыщенных растворов гидратных формирований. Вяжущее вещество при соприкосновении с водой растворяется до ионно-молекулярного состояния, химически связывает полторы молекулы воды, преобразовываясь в двухводный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), растворимость которого в четыре раза ниже растворимости исходного полугидрата. При достижении концентрации насыщения гидратированный продукт выпадает в виде мелких кристаллов. При этом раствор обедняется сульфатом кальция, что обеспечивает растворение дополнительных порций полугидрата и кристаллизацию двуводного сульфата кальция. По этой схеме процесс продолжается до полной перекристаллизации вяжущего вещества. Возникающие при твердении кристаллогидраты растут, соприкасаются, переплетаются и срастаются друг с другом, формируя структуру композита.

Несмотря на столь авторитетное мнение, отвердевание строительного гипса сопровождается рядом свойств и явлений, сложно поддающихся логической трактовке:

- как-то привычно-обыденно звучит: «в процессе варки двухводный гипс, теряя полторы молекулы воды, превращается в полуводный продукт, который после помола и смешения с водой присоединяет те же полторы молекулы воды, преобразовываясь в исходное структурное состояние». Не возникает ли при этом некоторого недоумения с половинками молекул воды? В чем состоит физическая сущность деструктивных метаморфоз с диполями воды? Каким образом эти усеченные молекулы «формулы жизни» принимают участие в гидратационных и структурообразующих преобразованиях?

- традиционно тиражируемая слоистая структура гипсового камня, включающая чередование двух соединенных ионом Ca^{2+} анионных групп SO_4^{2-} в комплексе с двумя молекулами воды, также малоубедительна. Разумеется, формирование рассматриваемого сырьевого продукта осуществлялось «в условиях литогенеза – совокупности

природных процессов образования и дальнейших изменений осадочных горных пород при тектонических движениях и изменении климата» [1]. Однако при этом не учитывается неизбежное участие в формировании горной породы высоко ассоциированной жидкой среды. Как следствие, межкристаллитные микрополости гипсового камня должны заполняться не ограниченным количеством мономерных дипольных объектов, а аквакомплексами, включающими не только локализованно рассредоточенную на твердой фазе адсорбционно связанную воду, но и ряд слоев с закономерно снижающейся энергией связи [2]. В этом отношении, структуру исходного гипсового камня рациональнее иллюстрировать не в виде «CaSO₄ · 2H₂O», а символом «CaSO₄ · n (H₂O)»;

- изображение природного гипса в виде соединения «CaSO₄ · n (H₂O)», дает основание считать о возможности получения не ограниченного количества, а многочисленных модификаций вяжущего вещества. Различная количественная (и качественная) потеря воды сырьевым продуктом при изменении технологических параметров варки (температуры, скорости нагрева, продолжительности обработки, давлении и влажности среды) и помола, и есть основная причина получения ряда модификаций гипсового вяжущего вещества, отличающихся степенью обезвоженности, соответственно, интенсивностью, скоростью отвердевания и конечными физико-техническими показателями;

- чрезвычайно важный момент – процессы обезвоживания и гидратации строительного гипса имеют обратимый вид (гипсовый камень, к примеру, можно неоднократно подвергать дроблению, варке, помолу и получать в итоге дисперсный продукт с вполне приемлемыми вяжущими и физико-техническими свойствами). Обратимость процесса убедительно указывает не на химический (хемосорбционный), а исключительно физический процесс (физическую адсорбцию) взаимодействия диполей воды с частично или полностью обезвоженным сульфатом кальция;

- как известно, «нагревание при 65 °С является уже достаточным для медленного обезвоживания гипса. Оно может иметь место и в условиях более низких температур, если парциальное давление водяных паров в окружающем воздухе меньше упругости диссоциации гипса при данной температуре» [3]. Данное обстоятельство свидетельствует о чрезвычайно слабой (физической) связи молекул воды с твердой фазой;

- влияет ли температура варки на молекулярную структуру исходного камня? Как известно, «повышение температуры ведет к снижению толщины <адсорбированных> пленок, что объясняется разрушением сетки Н-связей», в то же время, «повышение температуры ... до 65 °С не могло существенным образом изменить электростатические и молекулярные силы <твердой фазы>, мало чувствительные к температуре» [4];

- многочисленными исследованиями подтверждена последняя позиция – строительный гипс имеет практически ту же решетку, что и у природного, и безводного гипса; «достаточно близкое сходство между всеми этими структурами состоит в том, что они могут при определенных условиях без разрушения переходить друг в друга» [5]. Тем не менее, удаление межкристаллитной воды («свободных носителей заряда» [6]) не исключает получение полугидрата с несколько деформированной [7], энергетически не насыщенной (а потому и весьма активной) кристаллической решеткой;

- не ясен вопрос относительно энергетики и физической сущности незамедлительных растворительных действий в гетерогенной вяжущей системе, заданный сторонникам сквозьрастворного механизма твердения еще в середине прошлого столетия. Ответа до сих пор нет, если не считать пояснения [8]: «При этом не уточняется, в чем заключается сущность элементарных актов, протекающих на поверхности зерна вяжущего и обеспечивающих его растворение, так как нами было доказано, что этот процесс идет с диффузионным контролем (для дальнейших расчетов это несущественно). Кроме того, в настоящее время прямое изучение этих элементарных актов крайне затруднительно, и можно говорить лишь о гипотезах»;

- можно полагать, что растворение вяжущего вещества – умозрительная стадия, используемая для логики перевода твердой фазы гетерогенной системы в активное (молекулярно-ионное) состояние и осуществления соответствующих химических взаимодействий с жидкой средой. Ведь неспроста же ряд авторов [9] считают теорию В. Михаэлиса, предусматривающую проникновение «молекул воды в поверхностные слои вяжущего...еще менее пригодной для объяснения процессов твердения гипса».

Проиллюстрируем отдельные изложенные выкладки экспериментальными результатами. Опыты выполнены на свежих (в заводских герметичных полиэтиленовых упаковках) алебастре с остатком на сите № 02 – 29,8 % (производитель: ЗАО «Усть-Джегутинский гипсовый комбинат») и строительном гипсе с остатком – 9,2 % (производитель: ОАО «Хабезский гипсовый завод»), а также на гидратированном строительном гипсе после предварительного дробления камня до полного прохождения через сито № 063, суточной варки при температуре около 150 °С и помола в лабораторной шаровой мельнице в течение одного часа. Правда помола, как такового, не произошло, ввиду напрессовки мелющими телами дисперсий на внутренней поверхности барабана мельницы, чем и поясняется столь высокое значение остатка после стандартного просеивания (58,6 %). Для исследовательских же целей эти параметры гипсового вяжущего вещества представляют интерес. Диагностику вяжущих свойств указанных материалов осуществляли термометрическим методом [10], включающем определение кинетики пластической прочности пружинным коническим пластометром и температуры твердения с помощью двухканального регистрирующего прибора ТЦЗ-МГ4.01 (производитель СКБ Стройприбор, г. Челябинск). В отдельных опытах для изучения степени обезвоженности производили двухсуточную варку измельченного гипсового камня (с исходным В/Г=0,4 и 0,7) при различных температурах с использованием сушильной камеры SNOL 67/350 и муфельной печи.

Соприкосновение реагентов сопровождается лавинным ростом пластической прочности с одновременным существенным разогревом вяжущих составов (рис. 1). Это – первая неувязка с традиционным представлением; о каком же эндотермическом процессе растворения вяжущего вещества может идти речь в данной ситуации? Происходит мгновенное интенсивное потребление воды затворения высокоактивными, энергетически ненасыщенными

межкраталлитными микрообъемами твердой фазы с выделением огромного количества адсорбционного тепла. Развивающийся при этом в межзерновом пространстве вакуум организует (стягивает) гипсовые зерна, что сопровождается резким повышением структурной прочности. Взаимодействие компонентов, как видно из температурных кривых, ограничивается начальными 10...20 минутами (увеличивающихся при использовании грубо молотого вяжущего продукта по вполне понятной причине – повышению временных затрат на проникновение ассоциатов воды в массив зерен).

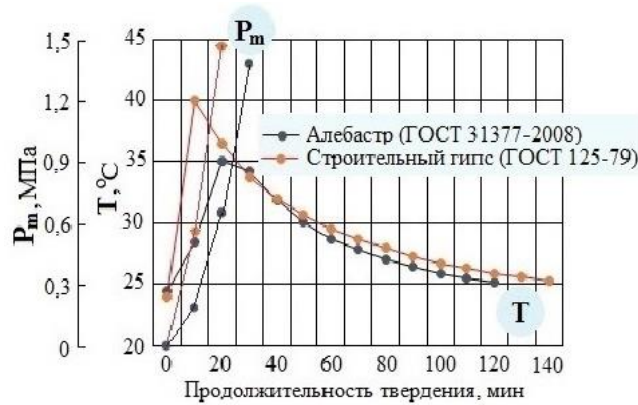


Рис. 1 – Кинетика пластической прочности и температуры твердения свежих гипсовых вяжущих веществ ($V/G=0,70$)

Более продолжительное испытания температуры твердения гипсовых составов (рис. 2) показали плавное (лекальное) снижение показателей до значения окружающей среды. Это обстоятельство указывает на отсутствие каких-либо структурно-химических неожиданностей твердеющего гипса на позднем этапе, что совершенно несопоставимо с отверждением портландцемента, характеризующегося ступенчатым (волнообразным) тепловыделением после индукционного временного интервала.

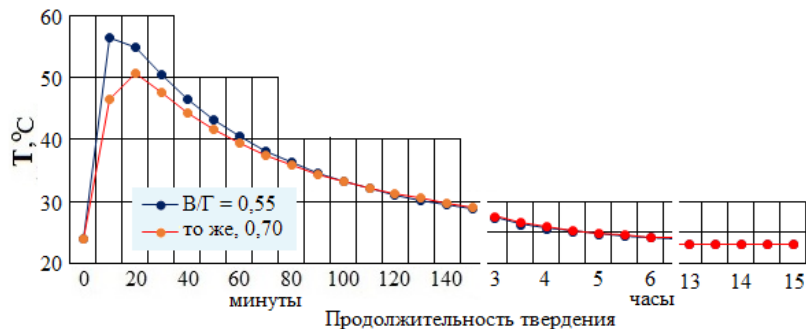


Рис. 2 – Кинетика температуры твердения свежего строительного гипса

Следует обратить внимание на динамику исследуемых свойств при вторичном затворении гидратированного гипса (после его дробления, варки и помола), рис. 3. Как видно, особых изменений, по сравнению с ранее полученными результатами (рисунки 1, 2), не наблюдается, кроме одного – процесс взаимодействия реагентов практически вдвое увеличился (составил около 30...40 минут) по ранее отмеченной причине (грубом помоле и удлинением продолжительности водонасыщения). Заметим, подобные операции по преобразованию гидратированного гипса в вяжущее вещество можно повторять неоднократно с близким конечным результатом.

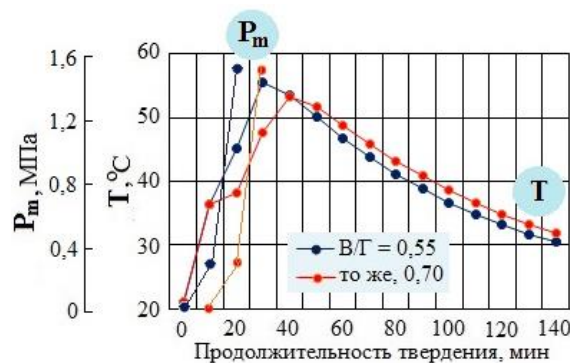


Рис. 3 – Кинетика пластической прочности и температуры твердения вторично гидратированного строительного гипса

Последний эксперимент убедительно показывает не химическую, а физическую сущность взаимодействия строительного гипса (и его многочисленных модификаций) с водой. Как следствие, такие явления, как растворение гипсовых зерен при смешивании с водой, их химическое взаимодействие с появлением в поровой жидкости гидратированных продуктов, пересыщение раствора, выпадение и срастание кристаллов и тому подобное, лишено теоретической (и практической) значимости. Вода в структуру гипсового вяжущего вещества проникает таким же образом, как и покинула свои исходные позиции при варке сырья. Последующее повышение свойств (прочности, плотности, водостойкости и др.) гипсового камня также связано с чисто физическими процессами – удалением свободной (гравитационной) воды, частичным капиллярным сжатием системы и использованием некоторых технологических воздействий (минеральных наполнителей, дисперсного армирования, силовых воздействий в рациональные сроки).

Приведенные на рис. 4 данные позволяют оценить степень обезвоживания гипсового камня при различных температурных воздействиях. Как видно, даже при 100-градусной варке (правда, при двухсуточной продолжительности операции) теряется 90...98 % введенной воды затворения. Конечно же, для сокращения длительности варки можно использовать более высокие температуры, однако на конечный результат это, вряд ли, скажется существенным образом.

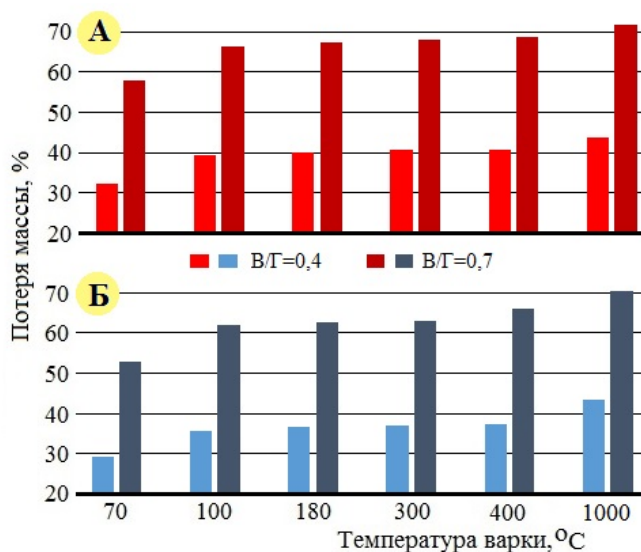


Рисунок 4 – Динамика обезвоживания камня на основе строительного гипса (А) и алебаstra (Б) при различных температурах варки

До сих пор не уточнена еще одна, требующая пояснений, проблема – природа объемных деформаций твердеющих гипсовых составов. Известно, что твердение строительного гипса сопровождается расширением, величина которого составляет 0,5...1,0 % (в некоторых источниках приводится на порядок большее значение [7]). Существует ряд мнений о механизме расширения, связанного с:

- ростом кристаллов двуводного гипса и присутствием в вяжущем веществе растворимого ангидрита [11];
- взаимным отталкиванием зерен растущими от их поверхности кристаллическими волоконподобными формированиями [12];
- действием в пластической стадии капиллярных сил [13];
- интенсивным насыщением порового объема новообразованиями [14].

Опуская критический анализ этих взглядов, отметим свою позицию. Прежде всего, приведенная на рис. 5 (достаточно распространенная) динамика расширения твердеющих гипсовых составов не соответствует реальности. Обычно используемая методология изучения объемных деформаций на стандартных образцах-балочках с применением замонтированных в гипсовом массиве металлических реперов и специальных устройств для крепления индикаторов часового типа не позволяет исследовать деформационный процесс в начальный (пластичный) период твердения.

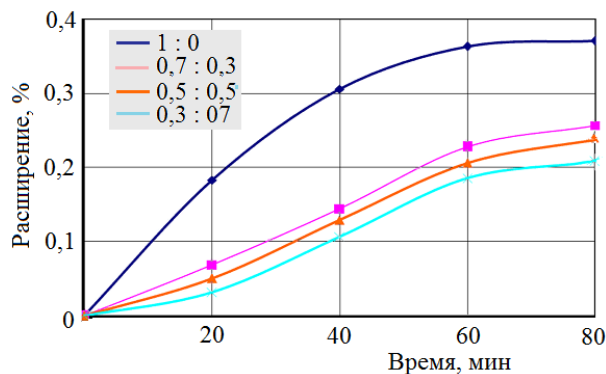


Рис. 5 – Объемное расширение строительного гипса без и с использованием кварцевого наполнителя [14]

Для этой цели рекомендуется использовать колбы В.В. Некрасова [15], заполняемых уплотненным гипсовым составом (в количестве на 30...50 мл меньшим объема колбы) и минеральным маслом с возможностью его выдавливания в капилляр (с диаметром канала 3 мм) посредством плотно подогнанной резиновой пробки (рис. 6, «А»). По изменению уровня масла в капилляре можно судить о протекающих объемных явлениях в начальной стадии твердения.

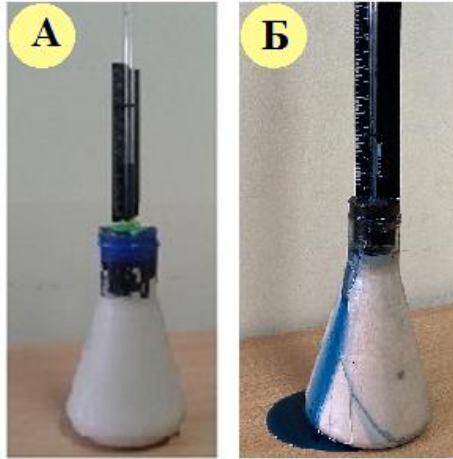


Рисунок 6 – Колба В.В. Некрасова для изучения начальных объемных деформаций твердеющих гипсовых составов

В первые 10...30 минут твердения интенсивно протекают не расширительные, а откровенно усадочные процессы (рис. 7). При этом усадка может иметь как однократный, так и повторяющийся (волнообразный) вид, что можно пояснить экзотермическим аспектом. Разогрев гипсовых составов до температуры 40...60 °С (рис. 1...3) ослабляет водородные связи водных ассоциатов, активизирует и повышает подвижность диполей, интенсифицирует тем самым их поглощение зернами вяжущего вещества. Незамедлительно потребляемая гипсовыми зернами вода приводит к развитию в межзерновых пустотах вакуума с соответствующим усадочным проявлением.

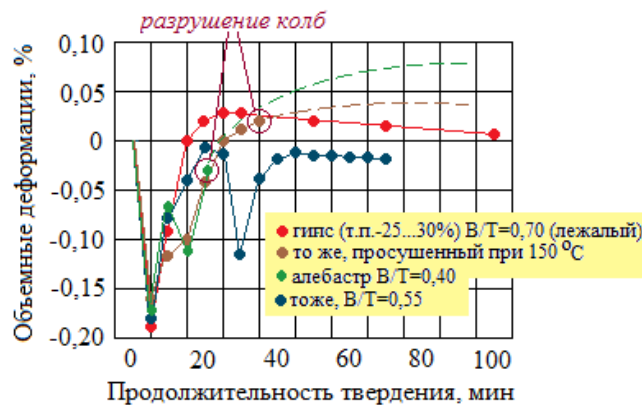


Рисунок 7 – Динамика объемных деформаций гипсовых вяжущих веществ

Начальная усадка со временем преобразуется в расширительное, постепенно затухающее действие. Следует заметить, что в ряде случаев (к примеру, после предварительной сушки гипса и при низком водосодержании состава) колбы разрушались (рис. 6, «Б») от возникающих в твердеющем гипсовом массиве растягивающих напряжений. Причина достаточно очевидна – раннее достижение стесненных условий при одновременном «набухании» гипсовых зерен, вследствие расклинивающего действия потребляемой межкристаллитными микрообъемами дисперсной твердой фазы воды затворения.

Выводы:

1. Разработанная А.Л. Ле-Шателье сквозьрастворная (кристаллизационная) «теория твердения» строительного гипса не отражает в должной мере сущность реально протекающего процесса, ввиду ряда до сих пор не устраненных «научных проблем» (экзотермии взаимодействия реагентов, объемных деформаций гипсовых составов, природы возникновения внутренних структурных напряжений и др.). В этой связи, считается малообоснованным мнение [16-21], касающееся не только существа отвердевания гипса, но и возможности обобщения этой схемы, и ее распространения для описания отвердевания иных, в том числе гидравлических вяжущих веществ. Несопоставимые сырьевая база и

технологическая основа этих вяжущих материалов делают откровенно неправомерным подобное теоретическое решение.

2. Мог ли великий француз ошибаться в своих теоретических построениях, в частности первоочередных растворительных преобразованиях гипсового вяжущего вещества? Напрашивается утвердительный ответ. Общеизвестны слабая связь молекул воды в структуре гипсового камня и ее малоэнергоемкое удаление при относительно низкой температуре, что свидетельствует не о химическом (хемосорбционном), а исключительно физическом (физической адсорбции) взаимодействии реагентов. Следовательно, вода в структуру обезвоженных гипсовых зерен входит таким же путем, как и вышла из нее в процессе варки гипсового камня, а именно – непосредственным проникновением в межкристаллитные полости.

3. Вода – высокоорганизованная система, «жидкий кристалл», обладающий одновременно свойствами как жидкости (текучести), так и кристаллов (анизотропии). В этой связи в межкристаллитных пустотах гипсового камня присутствует не ограниченное количество мономерных объектов (например, двухводный сернокислый кальций $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), а ассоциированная водная «атмосфера», включающая локально (рассредоточено) адсорбированные дипольные сгустки и водные слои с уменьшающейся по мере удаления от подложки энергией связи. Отсюда целесообразно рассматривать строение сырья в виде « $\text{CaSO}_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ ».

4. Варьируя режимом варки гипсового камня (величиной температуры, продолжительностью и скоростью нагрева, влажностью и давлением среды) и параметрами помола, можно получать многочисленные модификации вяжущего вещества, отличающиеся степенью обезвоженности, интенсивностью отвердевания и конечными физико-техническими свойствами. В любом из этих вариантов «движущей силой» формирования структуры и свойств гипсового композита является не пресловутая кристаллизация новообразований, переплетение и срастание волокно подобных кристаллов, а развивающийся в поровом пространстве вакуум, обусловленный интенсивным проникновением в массивы зерен воды затворения.

5. Образно говоря, гипсовый камень – тот же «микробетон» (по В.Н. Юнгу), включающий «заполнитель» (гипсовые зерна), соединенный в единое целое иммобилизованной «жестко связанной» с твердой фазой посредством ион-дипольного взаимодействия с ионами кальция и водородных связей с атомами кислорода сульфатных групп водой. При этом «молекулы воды в гипсе остаются в фиксированном или неподвижном состоянии не только при комнатной, но и при более высоких температурах» [22]. Отсюда понятно, почему достигаемая максимальная прочность гипсового композита ни в какое сравнение не идет с таковой камня на основе портландцемента (несопоставимы показатели прочности высокопористого гипсового «заполнителя» с высокоплотным клинкерным).

6. Огромная роль в формировании структуры и свойств гипсовых композитов, таким образом, принадлежит «иммобилизованным, жестко связанным» с твердой фазой водным ассоциатам. Появление на минеральных дисперсиях посредством водородных связей динамически равновесных пространственных двойных электрических слоев с перекрытием зон их интенсивного действия и является основной причиной «слипания даже одноименно заряженных дисперсий», формирования структуры и свойств гипсового камня. Данный аспект косвенно подтверждается примером прочного сцепления увлажненных стеклянных пластин.

7. Разумеется, отмеченные в пп. 5, 6 связи «в десятки раз слабее, чем «стандартные» внутримолекулярные химические связи, и достаточно обычных движений молекул, чтобы разрушить их. Но под влиянием тепловых колебаний так же возникают и новые связи этого типа» [23]. Эти положения широко известны и не требуют доказательств. Физический характер взаимодействия строительного гипса с водой способствует образованию относительно невысокой прочности, водо- и термостойкости. Тем не менее, ввиду неоспоримых преимуществ (распространенного сырья, приемлемых свойств, простоты технологии, экологичности и др.) данный материал достоин широкого распространения в отечественной строительной отрасли.

8. До сих пор нет достаточной ясности в природе расширительных деформаций твердеющих гипсовых составов. Существующие взгляды, например, взаимное отталкивание зерен растущими от их поверхности кристаллическими волокнами ничего, кроме иронии, не вызывают). В начальной стадии процесса твердения наблюдается явно выраженная усадка, вызванная интенсивным поглощением воды гипсовыми зернами, развитием в поровом пространстве вакуума и стяжением системы. По мере появления стесненных условий, продолжающегося насыщения гипсовых зерен водой и их раскливающего действия усадка при определенных условиях преобразовывается в расширительное действие.

9. Как известно «в обычных условиях гипс нельзя смешивать с цементом, так как при их взаимодействии получается неустойчивый материал, деформирующийся и разрушающийся вследствие образования высокосульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция» и значительного увеличения объема [24]. Не исключая представленного деструктивного момента, следует заметить, что негативный результат от смешения этих вяжущих веществ неизбежен, ввиду обратной направленности отвердевания: расширения гипса и контракционной усадки портландцемента.

10. Можно считать не совсем справедливым игнорирование топохимической схемы твердения строительного гипса В. Михаэлиса [9]. Единственное (но существенное) уточнение этой схемы – ассоциированная вода физическим образом проникает не только в «поверхностные слои», но и в массив гипсовых зерен при соприкосновении реагентов. Продолжительность этого процесса составляет ограниченные десятки минут, что косвенно подтверждается лавинным ростом структурной прочности, адсорбционного тепла, развития в системе вакуума и начальных усадочных деформаций.

11. Как следствие предыдущей позиции – диагностическим средством интенсивности отвердевания различных модификаций строительного гипса (да и других вяжущих веществ) должны быть не давно и безвозвратно изжившие себя (так называемые и, к удивлению, «не потопляемые») «начало и конец схватывания» вяжущих материалов, а свойства, непосредственно отражающие характер процесса взаимодействия реагентов. Это – термопластометрический

метод [10], [25], обеспечивающий (как видно из рисунков 1 – 3) исчерпывающую информацию об интенсивности и продолжительности структурообразующих преобразований.

12. Представленная модель гидратационного твердения гипсового вяжущего вещества позволит осмысленно и обоснованно осуществлять не только его производство с требуемыми технологическими параметрами (маркой, дисперсностью, скоростью твердения, водопотребностью), но и направленно производить гипсобетонную продукцию с повышенными эксплуатационными свойствами (прочностью, плотностью, деформативностью). В частности, большие перспективы в оптимизации «фактора времени» при поризации, приготовлении, укладке и уплотнении гипсобетонных составов.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

Список литературы / References

1. Долгорев А.В. Конструкционный высокопрочный гипсовый нанопрекомполит / Долгорев А.В. // Технологии бетонов, 2020, № 5-6. – С. 69-74.
2. Вода в дисперсных системах / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. – М.: Химия, 1989. – 288 с.
3. Юнг В.Н. Технология вяжущих веществ / Юнг В.Н., Бутт Ю.М., Журавлев В.Ф. и др. Под ред. В.Н. Юнга. – М.: Промстройиздат, 1952. – 600 с.
4. Дерягин Б.В. Поверхностные силы / Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. – М.: Наука, 1985. – 398 с.
5. Тейлор Х.Ф.У. Химия цементов / Под ред. Х.Ф.У. Тейлора. – М.: Стройиздат, 1969. – С. 3-17.
6. Сычев М.М. Твердение вяжущих веществ / Сычев М.М. – Л.: Стройиздат, 1974. – 79 с.
7. Бутт Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов: Учебник для вузов / Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. – М.: Высш. школа, 1980. – 472 с.
8. Ратинов В.Б. Дискуссия / Ратинов В.Б. // Шестой международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Том 2. – Кн. 1. – С. 339-340.
9. Пащенко А.А. Вяжущие материалы / Пащенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. – Киев, Вища школа, 1975. – 444 с.
10. Установка для изучения структурообразования цементных систем. Патент RU № 128331 U1 / Г.Н. Пшеничный, опубл. 20.05.2013, бюл. № 10. – 3 с.: илл.
11. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства) / Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Под ред. А.В. Волженского. – М.: Стройиздат, 1966. – 408 с.
12. Нурт Р. Основы стоматологического материаловедения. 2-ое изд. / Нурт Р. – М.: Изд-во КМК-Инвест, 2004. – 304 с.
13. Характеристика и роль объемных деформаций при твердении полуводного гипса [Электронный ресурс]. URL: http://alyos.ru/enciklopediya/stroitelnie_materiali_1973/harakteristika_i_rol_obemnih_izmenenij_pri_tverdenii_poluvodnogo_gipsa.html (дата обращения - 02.12.2020).
14. Колесникова И.В. Научные и технологические принципы получения сухих гипсовых смесей пониженной вяжущей и полимероемкости: автореф. дис...докт. техн. наук. – Алматы, 2010. – 42 с.
15. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов / Симонов М.З. – М.: Стройиздат, 1973. – 584 с.
16. Дж. Бернал. Структура продуктов гидратации цемента / Третий международный конгресс по химии цемента / Дж. Бернал. – М.: Госстройиздат, 1958. С. 137-156.
17. Ратинов В.Г. Вывод уравнений кинетики гидратации при твердении вяжущих веществ / Сб. трудов НИИЖелезобетона / Ратинов В.Г., Лавут А.П. – М.: Госстройиздат, 1962, вып. 6. – С. 132-137.
18. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ (вопросы теории) / Полак А.Ф. – М.: Стройиздат, 1966. – 208 с.
19. R. Mahl. Henry Le Chatelier (1850-1936) / R. Mahl. – URL: <http://www.annales.org/archives/x/lc.html> (дата обращения - 27.12.2020).
20. Строительное материаловедение: учебное пособие / под общей ред. В.А. Невского. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 571 с.
21. Дворкин Л.И. Строительные минеральные вяжущие вещества / Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
22. Габуда С.П. Связанная вода. Факты и гипотезы / Габуда С.П. – Новосибирск, Наука, 1982. – С. 114-116.
23. Течение процессов формирования контактной зоны в бетонах [Электронный ресурс]. – URL: <http://stroiarhive.ru/elektrofizicheskie-tehnologii/989-techenie-processov-formirovaniya-kontaktnoy-zony-v-betonah.html> (дата обращения 14.12.2020).
24. Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебник / Баженов Ю.М. – М.: изд. АСБ, 2007. – 528 с.
25. Калмыкова Е.Е. Исследование процессов структурообразования в цементном тесте и характеристика цементов взамен оценки их по срокам схватывания / Калмыкова Е.Е., Михайлов Н.В. – Бетон и железобетон, 1957, № 4. – С. 118-126.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dolgorev A.V. Konstrukcionnyj vysokoprochnyj gipsovyj nanoprekompozit [Constructional high-strength gypsum nanoprecomposite-Technologies of concrete] / Dolgorev A.V. 2020, No. 5-6. - P. 69-74. [in Russian]

2. Voda v dispersnyh sistemah [Water in dispersed systems] / B. V. Deryagin, N. V. Churaev, F. D. Ovcharenko et al. - M.: Khimiya, 1989. - 288 p. [in Russian]
3. Jung V. N. Tekhnologiya vyazhushchih veshchestv [Technology of astringent substances] / Jung V. N., Butt Yu. M., Zhuravlev V. F. et al. Under the editorship of V. N. Jung. - M.: Promstroyizdat, 1952. - 600 p. [in Russian]
4. Deryagin B.V. Poverhnostnye sily [Surface forces] / Deryagin B.V., Churaev N.V., Muller V.M. - M.: Nauka, 1985. - 398 p. [in Russian]
5. Taylor H. F. U. Himiya cementov [Chemistry of cements] / Ed. by H. F. W. Taylor. - M.: Stroyizdat, 1969. - P. 3-17. [in Russian]
6. Sychev M. M. Tverdenie vyazhushchih veshchestv [Hardening binders] / Sychev M. M. - Leningrad: Stroyizdat, 1974. - 79 p. [in Russian]
7. Butt Y. M. Himicheskaya tekhnologiya vyazhushchih materialov: Uchebnik dlya vuzov [Chemical technology of binding materials: Textbook for universities] / Butt Y. M., Sychev M.M., Timashev V.V. - M.: Vishcha shkola, 1980. - 472 p. [in Russian]
8. Ratinov V. B. Diskussiya [Discussion] / Ratinov V. B. // Sixth international congress on cement chemistry. - M.: Stroyizdat, 1976. - Volume 2. - Book 1. - pp. 339-340. [in Russian]
9. Pashchenko A. A. Vyazhushchie materialy [Knitting materials] / Pashchenko A. A., Serbin V. P., Starchevskaya E. A. - Kiev, Vishcha shkola, 1975. - 444 p. [in Russian]
10. Ustanovka dlya izucheniya strukturoobrazovaniya cementnyh sistem. Patent RU № 128331 U1 [Installation for studying the structure formation of cement systems. Patent RU No. 128331 U1] / G. N. Pshenichny, publ. 20.05.2013, byul. No. 10. - 3 p.: fig. [in Russian]
11. Volzhenskiy A.V. Mineral'nye vyazhushchie veshchestva (tekhnologiya i svoystva) [Mineralnye vyazhushchie materiya (tekhnologiya i svoystva)] / Volzhenskiy A.V., Burov Yu. S., Kolokolnikov V. S. Ed. by A.V. Volzhenskiy. - M.: Stroyizdat, 1966. - 408 p. [in Russian]
12. Nurt R. Osnovy stomatologicheskogo materialovedeniya. 2-oe izd. [Fundamentals of dental materials science] / Nurt R. 2nd ed. - M.: Publishing house of KMK-Invest, 2004. - 304 p. [in Russian]
13. Harakteristika i rol' ob"emnyh deformacij pri tverdenii poluvodnogo gipsa [Characteristics and role of volumetric deformations in the hardening of semi-aqueous гипса] [Electronic resource] URL: http://alyos.ru/enciklopediya/stroitelnie_materiali_1973/harakteristika_i_rol_obemnih_izmenenij_pri_tverdenii_poluvodnogo_gipsa.html (accessed 02.12.2020). [in Russian]
14. Kolesnikova I. V. Nauchnye i tekhnologicheskie principy polucheniya suhikh gipsovyh smesey ponizhennoj vyazhushche- i polimeroemkosti [Scientific and technological principles of obtaining dry gypsum mixtures of reduced astringent and polymer capacity]: abstract. dis ... PhD in technical sciences. - Almaty, 2010. - 42 p. [in Russian]
15. Simonov M. Z. Osnovy tekhnologii legkih betonov [Fundamentals of light concrete technology] / Simonov M. Z. - M.: Stroyizdat, 1973. - 584 p. [in Russian]
16. J. Bernal. Struktura produktov gidratatsii cementa [The structure of the hydration products of cement] / J. Bernal. // The third international Congress on the chemistry of cement. - M.: Gosstroizdat, 1958. - P. 137-156. [in Russian]
17. Ratinov V. G. Vyvod uravnenij kinetiki gidratatsii pri tverdenii vyazhushchih veshchestv [Laval derivation of equations of kinetics of hydration at twarde-NII binders] / Ratinov V. G. // SB. works of Negletation. - M.: Gosstroizdat, 1962, vol. 6. - P. 132-137. [in Russian]
18. Polak A. F. Tverdenie monomineral'nyh vyazhushchih veshchestv (voprosy teorii) [Hardening mineral binders (theory)] / Polak A. F. - M.: Stroyizdat, 1966. - 208 p. [in Russian]
19. R. Mahl. Henry Le Chatelier (1850-1936) [Electronic resource] / R. Mahl. - URL: <http://www.annales.org/archives/x/lc.html> (accessed 27.12.2020).
20. Stroitel'noe materialovedenie: uchebnoe posobie [Building materials science: textbook] / under the general ed. V.A. Nevsky. - Rostov n/D: Phoenix, 2007. -- 571 p. [in Russian]
21. Dvorkin L.I. Stroitel'nye mineral'nye vyazhushchie veshchestva [Building mineral binders] / Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. - M.: Infra-Engineering, 2011. -- 544 p. [in Russian]
22. Gabuda S. P. Svyazannaya voda. Fakty i gipotezy [Bound water. Facts and hypotheses] / Gabuda S. P. - Novosibirsk, Nauka, 1982. - P. 114-116. [in Russian]
23. Techenie processov formirovaniya kontaktnoj zony v betonah [The course of the processes of formation of the contact zone in concrete] [Electronic resource]. - URL: <http://stroj-archive.ru/elektrofizicheskie-tehnologii/989-techenie-processov-formirovaniya-kontaktnoy-zony-v-betonah.html> (accessed 14.12.2020). [in Russian]
24. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona. Uchebnik [Concrete technology. Textbook] / Bazhenov Yu.M. - M.: ed. ASB, 2007. -- 528 p. [in Russian]
25. Kalmykova E.E. Issledovanie processov strukturoobrazovaniya v cementnom teste i harakteristika cementov vzamen ocenki ih po srokam skhvatyvaniya [Investigation of the processes of structure formation in the cement paste and the characteristics of cements instead of evaluating them in terms of setting time] / Kalmykova E.E., Mikhailov N.V. // Concrete and reinforced concrete, 1957, No. 4. - P. 118-126. [in Russian]

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

Список литературы / References

1. «ГУОБДД МВД России» Официальный сайт Госавтоинспекции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 08.05.2021)
2. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» (в редакции Указа Президента Российской Федерации от 19.07.2018 г. № 444)
3. ГОСТ Р 52289-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств
4. АИР Магистраль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://airmagistral.ru/> (дата обращения: 08.05.2021)
5. Громов, А. А. О некоторых аспектах аварийности в Ленинградской области и способах повышения безопасности дорожного движения в темное время суток (на основе новых разработок) [Электронный ресурс] / А. А. Громов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 50 (288). — С. 136-140. — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/288/65232/> (дата обращения: 08.05.2021)
6. Официальный сайт Правительства Самарской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.samregion.ru/>(дата обращения: 08.05.2021)

Список литературы на английском языке / References in English

1. «GUOBDD MVD Rossii» Oficial'nyj sajt Gosavtoinspekicii ["GUOBDD of the Ministry of Internal Affairs of Russia" Official site of the State traffic inspectorate] [Electronic resource]. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (accessed: 08.05.2021) [in Russian]
2. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 07.05.2018 g. № 204 «O nacional'nyh celyah i strategicheskikh zadachah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda» (v redakcii Ukaza Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 19.07.2018 g. № 444) [Decree of the President of the Russian Federation of 07.05.2018 No. 204 "On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024" (as amended by the Decree of the President of the Russian Federation of 19.07.2018 No. 444)] [in Russian]
3. GOST R 52289-2019. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. Tekhnicheskie sredstva organizacii dorozhnogo dvizheniya. Pravila primeneniya dorozhnyh znakov, razmetki, svetoforov, dorozhnyh ograzhdenij i napravlyayushchih ustrojstv [GOST R 52289-2019. National standard of the Russian Federation. Technical means of traffic management. Rules for the use of road signs, markings, traffic lights, road barriers and guiding devices] [in Russian]
4. AIR Magistral' [Electronic resource]. – URL: <https://airmagistral.ru/> (accessed: 08.05.2021) [in Russian]
5. Gromov, A. A. O nekotoryh aspektah avarijnosti v Leningradskoj oblasti i sposobah povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v temnoe vremya sutok (na osnove novyh razrabotok) [On some aspects of accidents in the Leningrad region and ways to improve road safety at night (based on new developments)] [Electronic resource] / A. A. Gromov. — Tekst : neposredstvennyj // Molodoj uchenyj. — 2019. — № 50 (288). — P. 136-140. — URL: <https://moluch.ru/archive/288/65232/> (accessed: 08.05.2021) [in Russian]
6. Oficial'nyj sajt Pravitel'stva Samarskoj oblasti [Official website of the Government of the Samara region] [Electronic resource]. – Rezhim dostupa: <https://www.samregion.ru/>(accessed: 08.05.2021) [in Russian]