

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2022.25.8>

РОЛЬ ВОДЫ В ФОРМИРОВАНИИ ГИПСОВОГО КОМПОЗИТА

Научная статья

Пшеничный Г.Н. *

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

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

Аннотация

Представлена определяющая роль воды в гидратации, формировании структуры и свойств гипсового композита. Следует отдать должное В.М. Севергину, впервые сформулировавшему базовые теоретические и практические аспекты получения и использования гипсовых вяжущих веществ. Показано, что варка гипсового камня и гидратация обезвоженного продукта – один и тот же, но обратный направленный процесс, связанный с удалением в первом случае и интенсивным поглощением твердой фазой молекулярно-дисперсной влаги – во втором. Последний аспект, наряду с «набуханием» гипсовых частиц, приводит к быстрому появлению стесненных условий и электростатическому «склеиванию» кристаллических дисперсий посредством прослоек адсорбционно связанной полимолекулярной жидкой среды. Представляется, что подобный процесс имеет место и при использовании тонкоизмельченного безобжигового гипсового сырья, что позволит существенно снизить энергетические затраты в гипсобетонной технологии.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее, кристаллизационная вода, гидратация, структурообразование, твердение, прочность гипсового камня.

ON THE ROLE OF WATER IN THE FORMATION OF GYPSUM COMPOSITE

Research article

Pshenichny G.N. *

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

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

Abstract

The current study presents the determining role of water in hydration, formation of the structure and properties of gypsum composite. It is necessary to pay tribute to V.M. Severgin, who for the first time formulated the basic theoretical and practical aspects of obtaining and using gypsum binders. It is shown that the cooking of gypsum stone and the hydration of the dehydrated product are the same but inversely directed process associated with the removal of molecular dispersed moisture in the first case and its intensive absorption by the solid phase in the second. The latter aspect, along with the "swelling" of gypsum particles, leads to the rapid appearance of cramped conditions and electrostatic "gluing" of crystalline dispersions by means of layers of adsorption-bound polymolecular liquid medium. It seems that a similar process takes place when using finely ground, non-burnt gypsum raw materials, which will significantly reduce energy costs in gypsum concrete technology.

Keywords: gypsum binder, crystallization water, hydration, structure formation, hardening, strength of gypsum stone.

Введение

Строительный гипс при смешивании с водой образует пластичную массу, относительно быстро превращающуюся в твердое тело. При этом направленная технология конечного продукта с требуемыми свойствами может быть обеспечена лишь при ясном и однозначном представлении физической сущности отвердевания гипсовых систем и динамики сопровождающих свойств и явлений. Теоретическая осмысленность данного аспекта позволит заменить традиционный кубико-прочностной подход научно обоснованным назначением рациональных технологических решений.

Что же мы имеем на данный момент? За основу принято сквозьрастворное воззрение А.Л. Ле-Шателье, иллюстрируемое во многих источниках, в том числе учебных пособиях подготовки специалистов строительного направления представленной на рис. 1 схемой. Как видно, процесс твердения гипса представляется последовательностью (или одновременным протеканием) стадий: смешивания реагентов, растворения вяжущих дисперсий, химического связыванием молекул воды, насыщения и пересыщения жидкой фазы гидратированным веществом, выпадения и срачивания кристаллов, и формирования структуры твердения.

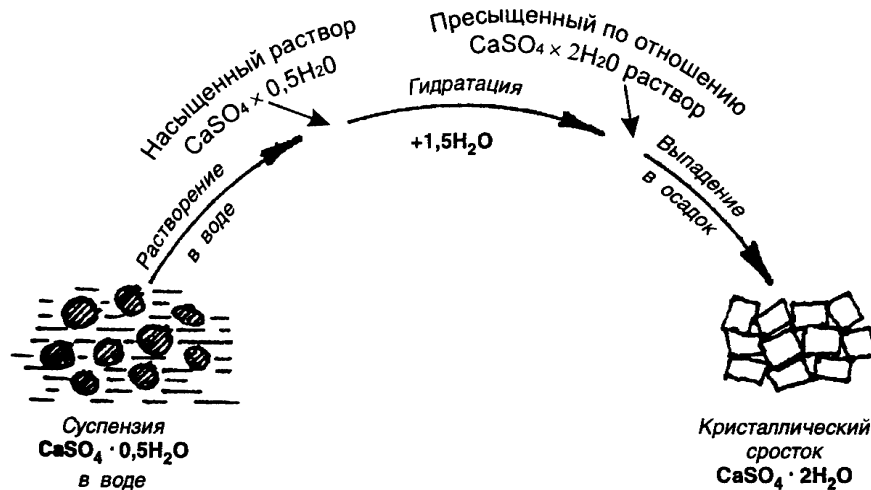


Рис. 1 – Схема твердения строительного гипса

Выполненный анализ [1], [2] показал неадекватность подобной точки зрения, сомнительность в ее теоретической и практической целесообразности. В частности, первоначальным актом взаимодействия реагентов считается растворение гипсовых частиц. И это достаточно логично с точки зрения химика (какой же иной путь можно предложить для перевода твердого вещества в активный вид?). Однако при взаимодействии реагентов мы имеем дело не с химическим, а с физическим связыванием твердой фазой воды, относительно слабой физической адсорбцией. В этом несложно убедиться, проведя простейший опыт – после определения стандартной прочности при сжатии гипсового образца продолжим прессующее воздействие его остатка; визуально увидим потемнение (увлажнение) прессующей массы (при низком значении В/Г) или явное отжатие воды (при повышенном водосодержании).

Молекулы адсорбированной воды, таким образом, полностью сохраняют свои индивидуальные свойства, что и определяет результат выше приведенного опыта и общеизвестную обратимость гидратационного процесса (возможность неоднократного превращения затвердевшего гипсового камня в вяжущее состояние путем дробления, обжига и последующего помола). В этом отношении недоумение вызывает обобщение незаслуженно тиражируемой кристаллизационной схемы твердения и возможность ее распространения на другие, в том числе клинкерные (?) вяжущие вещества, имеющие несопоставимую с гипсом и его разновидностями сырьевую и технологическую основы, и физическую сущность отвердевания.

Между тем, задолго до разработки А.Л. Ле-Шателье академик Российской Императорской академии наук (РИАН) Василий Михайлович Севергин дал достаточно полное и подробное описание процесса получения и использования гипсового вяжущего вещества [3]: «Обыкновенный грубый гипс употребляется на жжение, как говорят, алебаstra. От приличного на то жару гипс лишается своей воды кристалльной <кристаллизационной>... Во время сего обжига поднимается белый дым, который скоро распускается в воздухе, ежели только атмосфера суха. Сей дым происходит от кристалльной воды, приведенной в пары... Во многих деревнях жжение гипса составляет главный промысел крестьян. Они обжигают гипсовые породы... на дровяных кострах; жженный гипс толкут в толчеях, приводимых в действие руками или посредством лошадей, <затем> просеивают его...

Для употребления жженого гипса разводят его в воде или, как говорят, гасят водою. Сим действием возвращается гипсу кристалльная его вода. Когда количество воды, присовокупляемой к жженому гипсу почти равно объемности употребленного жженого гипса, то сия жидкость тотчас поглощается, и жженный гипс принимает тогда плотное состояние. Примечается, что в сие мгновение бывает некоторый жар, происходящий от теплотвора, который выпускает вода, переходя от жидкого состояния в твердое... Гипс, слишком пережженный и лежавший долгое время на воздухе, теряет свойство гаситься. В первом случае кажется потому, что претерпел остеклование; а во втором потому, что вообрал в себя мало по малу кристалльную воду».

В этих нескольких фразах исчерпывающе представлена суть вопроса:

- обжиг (варка) дробленного («грубого») природного гипса связана с полным или частичным обезвоживанием сырья, являющейся причиной его гидравлической активности в обычных условиях;
- визуально вода из обжиговых печей удаляется в виде «дыма» (при сухой погоде); в действительности же этот дым не что иное, как обычный пар, происходящий от удаляемой «кристалльной» (кристаллизационной) воды;
- обязательный технологический прием – помол жженого гипса для его практического применения в скульптурных работах, изготовлении сухих красок, искусственного мрамора, декоративных изделий и др.;
- получение обратного эффекта (исходной природной и стабильной структуры) осуществляется смешением гипса с водой, что обеспечивает возвращение гипсу его кристалльной воды;
- количество введенной «воды, присовокупляемой к жженому гипсу почти равно объемности употребленного жженого гипса», что довольно близко к рациональному значению В/Г = 0,5...0,7;
- введенная вода незамедлительно («тотчас»), поглощается твердой фазой и «жженный гипс принимает тогда плотное состояние»;
- поглощение воды вызывает «некоторый жар» (составляющий, кстати, многие десятки градусов), что в современных источниках зачастую не упоминается, ввиду сложности интерпретации сути явления;
- автор совершенно справедливо поясняет эту экзотермию явлением «теплотвора» (по-современному – энергией адсорбции), «который выпускает вода, переходя от жидкого состояния в твердое»;

- очевидно, при длительном хранении строительного гипса в обычных условиях теряется его активность, ввиду того что он вбирает «в себя мало по малу кристалльную воду» из окружающей среды.

Отмеченные позиции – объективны, логичны и, вряд ли, могут вызывать сомнение, ввиду простоты их экспериментальной проверки. Остается только гадать, почему они не нашли соответствующего осмысления и развития, а в качестве теоретической основы твердения гипса принята растворительно-кристаллизационная схема, не только не решающая, а откровенно усугубляющая проблему.

Еще один до сих пор не уточненный аспект – что за явления и процессы формируют структуру и механические свойства гипсового композита? Широко тиражируемое мнение о выпадении и срастивании кристаллов (рис. 1) как-то мало согласуется с реальным состоянием дел: затвердевший гипсовый камень – изотропный материал, имеющий сравнительно низкие прочность, твердость, тепло-, водо- и морозостойкость. К тому же вялотекущие кристаллизационные преобразования невероятно вписать в те считанные десятки минут взаимодействия гипса с водой (как известно, продолжительность кристаллизационных метаморфоз составляет годы и даже десятилетия).

Здесь уместно высказывание профессора Святослава Петровича Габуда [4]: «Если образец безводного порошкообразного гипса... залить небольшим количеством воды и размешать, он приобретает тестообразную консистенцию, и ему можно придавать любую форму, делать слепки и т. д. Но через короткое (3–10 мин) время гипс «схватывается» - превращается в сравнительно прочный монолит, сохраняющий приданную ему форму. Существенная роль воды в процессе схватывания в данном случае интуитивно очевидна, хотя не очень ясно, что же там внутри теста произошло... Итак, отверждение гипса сопровождается иммобилизацией внесенной в него воды, иными словами вода связывается. С чем связывается? Здесь – и ионами кальция (путем ион-дипольного взаимодействия) и с атомами кислорода сульфатных групп (водородная связь). Интересно, что молекулы воды в гипсе остаются в фиксированном или неподвижном состоянии (говорят, «вода жестко связана») не только при комнатной, но и при более высоких температурах...

Итак, круг замкнулся. Отверждение гипса очевидным образом обусловлено связыванием воды, удаление которой автоматически означает полное разрушение формованного гипсового изделия. Однако преждевременно утверждать, что именно связанная вода обеспечивает прочность образца. Возможно, что в данном случае она играет лишь роль посредника при включении истинного механизма сцепления частиц гипса в затвердевшем материале...».

Действительно, как-то мало воспринимается сочетание таких категорий, как прочность гипсового композита и жестко связанная вода. И если последняя выполняет роль «посредника», то в чем заключается истинный механизм сцепления частиц гипса в затвердевшем продукте? Отметим некоторые особенности структуры и свойств реагентов.

Природный гипс (гипсовый камень) является типичным осадочным минералом, появляющимся при испарении насыщенной солями кальция воды. Залегаает в пластах осадочных пород, образуя преимущественно волокнисто-слоистые массивы (рис. 2), включающие чередование слоев сульфата кальция, разделенных водными прослойками. Такая архитектура природного гипсового камня формировалась «в условиях литогенеза – совокупности природных процессов образования и дальнейших изменений осадочных горных пород при тектонических движениях и изменении климата» [5]. Невольно напрашивается аналогия слоистости гипсового камня возникновению годичных древесных колец. Осадочные процессы формирования структуры камня (как и рост клеток древесины) протекают с различной интенсивностью в зависимости от смены теплого и холодного времен года.



Рис. 2 – Структура природного гипсового камня

Таким образом, периодичность климатических условий определяет слоистую архитектуру гипсового камня с естественным заполнением межкристаллитных полостей аквакомплексами, содержащими не только локализованно рассредоточенную на минеральной подложке адсорбционно связанную воду, но и ряд слоев с закономерно снижающейся энергией связи диполей [6]. При этом следует акцентировать особое внимание на том, что связь молекул воды с твердой фазой (как неоднократно отмечалось) имеет не химическую, а исключительно физическую природу, физическую адсорбцию.

Вода – высокоорганизованная водная система, «жидкий кристалл», одновременно характеризующийся свойствами как жидкости (текучести), так и кристаллов (анизотропии). Вода обладает когезионными и адгезионными свойствами, существенными силами сцепления диполей посредством водородных связей и способностью прилипать к минеральным подложкам за счет ион-дипольного взаимодействия [4]. Проще говоря, воде присущи «клеящие» способности, что легко обнаруживается путем фиксации усилия отрыва увлажненных стеклянных пластин (рис. 3). При этом установлено, что

сила сцепления пластин заметно повышается с уменьшением (до определенных пределов) толщины водной прослойки или снижением количества слабо связанных молекул воды.



Рис. 3 – Установка для изучения «клеящих» свойств воды:

А – осуществление отрыва пластины; Б – момент ее отрыва; 1 – весы безмен WH-A08 с цифровой индикацией нагрузки; 2 – вакуумная присоска; 3 – отрывная стеклянная пластинка ($S=34$ кв. см; $\delta=4$ мм); 4 – стеклянное основание ($\delta=4$ мм)

Толщину водного слоя регулировали путем предварительного сжатия пластин последовательно увеличивающейся нагрузкой (0, 5, 18 и 70 кгс) и выдавливания части воды из контактной прослойки. Для исключения возможного подсоса в момент снятия груза и соединения безмена с вакуумной присоской отжатую воду в каждом из опытов удаляли с помощью бумажных салфеток. Использовали обычную (питьевую) и дистиллированную воду. Как видно (рис. 4), отмеченная закономерность подтверждается – по мере удаления избыточной воды клеящая способность возрастает. При этом, кстати, использование дистиллированной воды, по сравнению с обычной, дает более ощутимый результат, что нашло экспериментальное подтверждение [7], [8] и предусмотрено в стоматологической практике [9]. Пояснение подобного эффекта достаточно очевидно – в питьевой воде допускается присутствие (в нормируемых количествах [10]) хлоридов, сульфатов, нитратов, ионов кальция, магния, натрия, хлора и др., действующих мало предсказуемым образом на структуру и свойства воды, усиливающих (положительная гидратация по О. Я. Самойлову) или, наоборот, снижающих (отрицательная гидратация) степень структурирования диполей. Дистиллированная же вода – более однородный объект, использование которого для затворения гипсового вяжущего вещества позволяет улучшить «физические свойства гипса, прежде всего – твердость и стабильность размеров» [7].

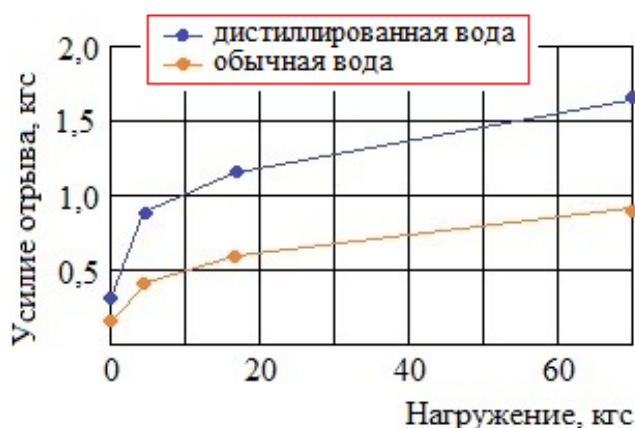


Рис. 4 – Влияние предварительного нагружения увлажненных пластин на усилие отрыва

Гипсовое вяжущее вещество после дробления, варки и помола природного камня (рис. 2) представляет собой хаотично расположенные слоистые кристаллические обломки микронных размеров (рис. 5). Заметим, эти кристаллы не результат выпадения из пересыщенных растворов, а продукты механической переработки исходного сырья. При смешивании с водой происходит интенсивное заполнение структурированной жидкой средой энергетически не насыщенных и активных межкристаллитных полостей дисперсий. Развивающийся при этом в межзерновых пустотах вакуум (наряду с «набуханием» гипсовых зерен) приводят к быстрому появлению стесненных условий, перекрытию силовых полей, слипанию микрокристаллов и образованию структуры твердения. Образно говоря, формирование прочности гипсового композита аналогично вышеприведенному эксперименту со «склеиванием» увлажненных стеклянных пластин. Представленный электростатический (физический) процесс отвердевания гипса характеризуется относительно низкой

прочностью, водо- и термостойкостью (по сравнению с химическим, например, на основе портландцемента), однако находит широкое и рациональное применение в строительной практике.

Занятен вопрос: обладает ли обычный природный гипсовый камень вяжущими качествами? Казалось бы, очевиден отрицательный ответ. О каких связующих свойствах может идти речь при использовании структурно стабильного камня? Ведь о растворительных, химических, кристаллизационных и тому подобных аспектах в данном случае даже неприлично упоминать. Тем не менее, еще в древних Греции и Риме (а позже и в странах Европы) использовали метод «стука» при устройстве гипсобетонных прочных и водостойких набивных полов, покрытий зданий, отделки под мрамор стеновых элементов, колонн, сводов церквей и др. [12]. Сущность метода заключалась в предварительном дроблении гипсового камня, просеивании через тонкие сита, частичном увлажнении (при недостаточной природной влажности) и послойной набивке полученного состава железными молотками или окованными железом пестами на обрабатываемую поверхность. Для повышения прочности, долговечности, водоустойчивости и улучшения декоративных качеств использовали добавку извести, тонкоизмельченного мрамора, керамики, вулканического туфа.

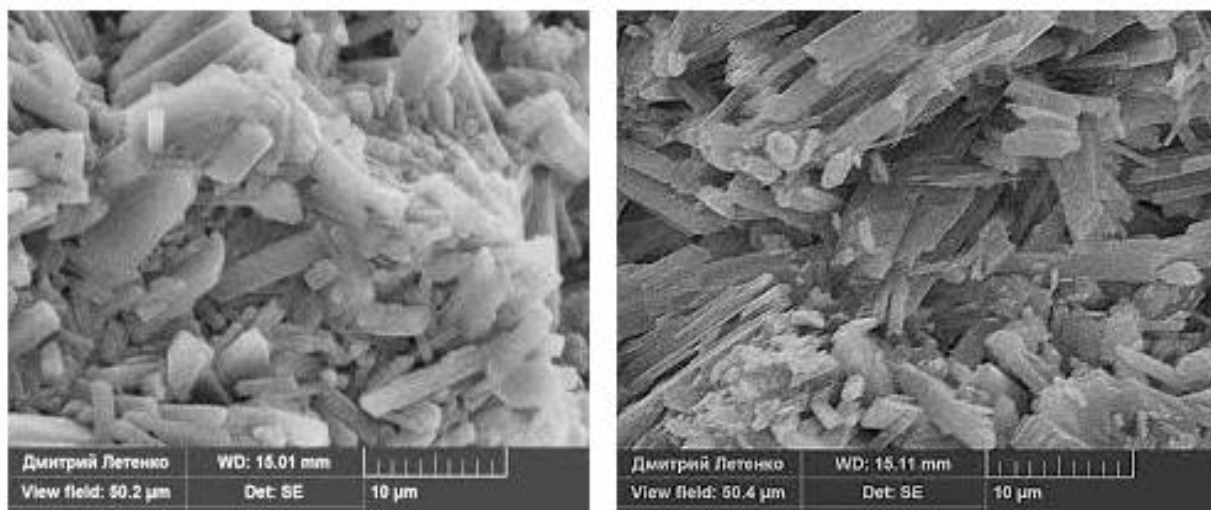


Рис. 5 – Электронная микрофотография скола гипсового камня [11]

В последние годы появился и отечественный интерес к подобной технологии [13], [14], [15], позволяющей исключить из производственного процесса такую энергетически затратную операцию, как варку (обжиг) природного гипса. При этом римский метод «стука» предлагается заменить более прогрессивным и производительным прессующим (статическим или динамическим) воздействием. «Обработывая гипс дигидрат в условиях динамического прессования удалось установить, что прочностные свойства... существенно увеличиваются и приближаются к высокопрочным гипсам» [13]. Таким образом, данный метод достаточно эффективен, например, в технологии гипсокартонной продукции. Вопрос – в объективном теоретическом обеспечении подобной технологии. Предлагаемые механизмы (основанные на традиционных теоретических взглядах): изменение исходных размеров частиц и образование новых поверхностей [13], создание определенного пересыщения по отношению к двухводному гипсу [14], образование фазовых контактов в активных центрах кристаллизации [15] и т. п. мало отражают суть вопроса.

При силовом воздействии выдавливается избыточная слабо связанная вода из межзерновых полостей гипсовых дисперсий, являющаяся причиной возникновения на поверхности последних электромагнитных полей. Появление стесненных условий (за счет механического уплотнения системы и ранее отмеченных электростатических взаимодействий) и есть основная причина формирования структуры и свойств гипсового композита. Кстати, процесс механического выдавливания физического связанной воды и определяет низкую эффективность щековых, конусных, роторных, молотковых дробилок и шаровых мельниц, ввиду налипания увлажняющегося материала на измельчающих элементах и внутренней поверхности рабочих камер. В этом отношении перспективны разработанные и выпускаемые заводом «Тульские Машины» роторно-дисковые или валково-зубчатые измельчители, оснащенные соответствующими очищающими устройствами.

Представленный материал позволяет сформулировать отдельные мероприятия по оптимизации гипсобетонной технологии:

- применение полидисперсного гранулометрического состава гипсового компонента, обеспечивающего предельно плотную упаковку зерен;
- использование рационального водосодержания системы (с учетом конкретной влажности гипсового сырья);
- должный эффект может быть достигнут в случае динамических вибро-прессующих воздействий (снижение пристенного эффекта);
- наибольший результат следует ожидать при производстве тонкостенных изделий (например, гипсокартонных плит);
- при изготовлении массивной продукции (блоки, камни, панели) целесообразно использовать послойное уплотнение.

Выводы

1. Разработанная А.Л. Ле-Шателье, широко и повсеместно тиражируемая растворительно-кристаллизационная схема твердения строительного гипса мало соответствует реальному состоянию дел. Этот процесс – обратим, в чем легко убедиться, проведя простейшие, представленные в статье эксперименты. Следовательно, взаимодействие реагентов (воды

и частично или полностью обезвоженного сульфата кальция) имеет не химическую, а исключительно физическую основу. В этом отношении очевиден просчет великого француза и откровенная ошибочность обобщения его взглядов и распространения подобной гидратационной схемы на иные, тем более минеральные клинкерные (!) вяжущие вещества.

2. Вода – ассоциированная полимолекулярная система, обладающая достаточно сильным адсорбционным сцеплением с минеральной подложкой и водородными связями диполей. Как следствие – вода обладает клеящими свойствами, что просто обнаруживается банальным опытом (достаточно прочным соединением увлажненных стеклянных пластин). Причем прочность сцепления минеральных объектов во многом зависит от толщины водной прослойки – повышается при ее снижении (разумеется, до оптимальной величины) и наоборот. Отсюда логически возникает несколько необычное и неожиданное предположение: не является ли данный эффект структурообразующим фактором в формировании гипсового композита?

3. Первооткрывателем процессов получения и отвердевания строительного гипса правомерно считать не ранее упомянутого француза, а нашего соотечественника – ученого-академика ИАН В. М. Севергина, два века назад сформулировавшего базовые этапы явления. В частности, обжиг природного сырья и его взаимодействие в дисперсном виде с водой – обратный процесс, связанный с удалением кристалльной (кристаллизационной) воды в первом случае и ее непосредственным присоединением во втором. Причем, при адсорбции воды выделяется огромное количество энергии (тепла), что не вызывает сомнений, но, тем не менее, часто игнорируется [12] и не принимается во внимание.

4. Показано, что гипсовый состав сопровождается незамедлительным («тотчас» по В. М. Севергину) потреблением твердым веществом воды. Несложно заметить, что это явление не только способствует заполнению жидкой средой межкристаллитных полостей, но и формированию на поверхности гипсовых частиц «жестко связанной воды» (по С.П. Габуда). Последний аспект указывает на появление на поверхности гипсовых дисперсий силовых электромагнитных полей, играющих важнейшую роль в структурообразующих преобразованиях.

5. Интенсивное потребление твердой фазой воды затворения определяет развитие в межзерновых пустотах гипсовых составов вакуума с неизбежными усадочными явлениями, что методически просто проверить в общеизвестных колбах В. Н. Некрасова. Этот аспект, наряду с вполне понятным набуханием гипсовых частиц при увлажнении, приводят к быстрому появлению в системе стесненных условий. Перекрывание водных полимолекулярных силовых полей частиц и приводит к слипанию «даже одноименно заряженных дисперсий» [6]. Не это ли явление имеем мы при отвердевании гипсовых вяжущих веществ?

6. Электростатические взаимодействия частиц и формирование структуры твердения имеют место и при использовании молотого до дисперсного состояния природного гипсового камня, что известно много тысячелетий назад в виде технологии римского «стука». Увлажнение частиц силовым выдавливанием из их структуры слабо связанной воды или ее специальным незначительным введением в состав смеси (при недостаточной влажности сырья) способствует образованию поверхностного заряда, приводящего к выше отмеченному электростатическому эффекту при провоцировании механическим путем стесненных условий.

7. Измельченный гипсовый камень представляет собой хаотичное расположение кристаллических структур (рис. 5). Представляется, что положительный результат (с точки зрения, например, прочности) может быть достигнут при упорядоченном (плоскопараллельном) расположении кристаллов сульфата кальция. Конечно, это – проблема не сегодняшнего дня, но логика подсказывает, что ее решение позволит значительно повысить физико-технические свойства конечного продукта.

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

Список литературы / References

1. Пшеничный Г.Н. Теории твердения гипса и портландцемента: теории или «сказки про белого бычка»? / Г.Н. Пшеничный // Современное строительство и архитектура – 2021 – № 2 (23). – С. 4–14.
2. Пшеничный Г.Н. Не являются ли существующие теории твердения гипса и портландцемента «сказками про белого бычка» / Г.Н. Пшеничный // Технологии бетонов – 2021 – № 6. – С. 37–46.
3. Начертание технологии минерального царства, изложенное трудами Василия Севергина. Том 1 – СПб.: Изд. ИАН, 1821. – С. 273–274.
4. Габуда С.П. Связанная вода / С.П. Габуда // Факты и гипотезы. – Новосибирск, Наука, 1982. – С. 114–116.
5. Долгорев А.В. Конструкционный высокопрочный гипсовый нанокомпозит / А.В. Долгорев // Технологии бетонов – 2020 – № 5-6. – С. 69-74.
6. Дерягин Б.В. Вода в дисперсных системах / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. – М.: Химия, 1989. – 288 с.
7. Гипс [Электронный ресурс] – URL: <http://antclub.ru/masterskaya/napolniteli/gips> (дата обращения: 19.12.2021).
8. Ряховский А.Н. Исследование влияния состава воды на расширение гипса IV типа / А.Н. Ряховский, М.М. Уханов // Панорама ортопедической стоматологии – 2009 – № 3. – С. 3–7.
9. ГОСТ Р 51887–2002 Гипсы стоматологические. Общие технические условия.
10. СанПиН Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения.
11. Исследование структуры и свойств гипса с добавками латекса и углеродных наночастиц [Электронный ресурс] – URL: <http://icsspc.spbgasu.ru/wp-content/uploads/2020/11> (дата обращения: 19.11.2021).
12. Значко-Яворский И.Л. Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времен до середины XIX века / И.Л. Значко-Яворский – М. - Л.: Изд. АН СССР, 1963. – 496 с.

13. Михеенков М.А. Особенности механической активации гипса в условиях динамического прессования [Электронный ресурс] / М.А. Михеенков // Исследовано в России – URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/127.pdf>. – С. 1342–1352. (дата обращения: 19.11.2021).

14. Печенкина Т.В. Прессованные композиции из двухводного гипса и строительные материалы на их основе: дис...канд. техн. наук. / Т.В. Печенкина – Уфа, 2009. – 173 с.

15. Петропавловская В.Б. Формирование структуры и свойств в конденсированных системах безобжиговых строительных гипсовых композиций: дисс...д-ра техн. наук / В.Б. Петропавловская – Тверь, 2021. – 317 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Pshenichny G.N. Teorii tverdeniya gipsa i portlandcementsa: teorii ili "skazki pro belogo bychka"? [Theories of gypsum and Portland cement hardening: theories or "tales about a white bull"?] / G. N. Pshenichny // *Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura* [Modern construction and Architecture] – 2021 – № 2 (23). – pp. 4-14 [in Russian]

2. Pshenichny G.N. Ne javljajutsja li sushhestvujushhie teorii tverdeniya gipsa i portlandcementsa "skazkami pro belogo bychka"? [Aren't the existing theories of gypsum and Portland cement hardening "tales about a white bull"?] / G. N. Pshenichny // *Tekhnologii betonov* ["Technologies of concrete"] – 2021 – No. 6. – pp. 37-46 [in Russian]

3. Nachertanie tekhnologii mineral'nogo carstva, izlozhennoe trudami Vasilija Severgina. Tom 1 [The outline of the technology of the mineral kingdom, outlined by the works of Vasily Severgin. Volume 1] – St. Petersburg: IAN Publishing House, 1821. – pp. 273–274 [in Russian]

4. Gabuda S. P. Svjazannaja voda. [Bound water] / S. P. Gabuda // *Fakty i gipotezy* [Facts and hypotheses] – Novosibirsk: Nauka, 1982. – pp. 114–116 [in Russian]

5. Dolgorev A.V. Konstrukcionnyj vysokoprochnyj gipsovyj nanoprekompozit [Structural high-strength gypsum nanoprecomposite] / A. V. Dolgorev // *Tekhnologii betonov* [Concrete Technologies] – 2020 – No. 5-6. – pp. 69–74 [in Russian]

6. Deryagin B.V. Voda v dispersnykh sistemakh [Water in dispersed systems] / B.V. Deryagin, N.V. Churaev, F.D. Ovcharenko et al. - M.: Khimiya, 1989. - 288 p. [in Russian]

7. Plaster [Electronic resource] – URL: <http://antclub.ru/masterskaya/napolniteli/gips> (accessed 19.12.2021) [in Russian]

8. Ryakhovsky A.N. Issledovanie vlijaniya sostava vody na rasshirenie gipsa IV tipa [Investigation of the influence of water composition on the expansion of type IV gypsum] / A. N. Ryakhovsky, M. M. Ukhanov // *Panorama ortopedicheskoy stomatologii* [Panorama of Orthopedic dentistry] – 2009 – No. 3. – pp. 3-7 [in Russian]

9. GOST R 51887-2002 Gipsy stomatologicheskie. Obshhie tekhnicheskie uslovija [Dental casts. General technical conditions] [in Russian]

10. SanPiN [Sanitary Regulations and Norms] Pit'evaja voda. Gigienicheskie trebovanija k kachestvu vody centralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzhenija. [Drinking water. Hygienic requirements for the water quality of centralized drinking water supply systems] [in Russian]

11. Issledovanie struktury i svojjstv gipsa s dobavkami lateksa i uglerodnykh nanochastich [Investigation of the structure and properties of gypsum with additives of latex and carbon nanoparticles] [Electronic resource] – URL: <http://iccpac.spbgasu.ru/wp-content/uploads/2020/11> (accessed: 19.11.2021) [in Russian]

12. Znachko-Yavorsky I.L. Ocherki istorii vjazhushhikh veshhestv ot drevnejshikh vremen do serediny XIX veka [Essays on the history of astringents from ancient times to the middle of the XIX century] / I. L. Znachko-Yavorsky. - M. - L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. - 496 p. [in Russian]

13. Mikheenkova M.A. Osobennosti mekhanicheskoy aktivatsii gipsa v usloviyakh dinamicheskogo pressovaniya [Features of mechanical activation of gypsum under dynamic pressing conditions] [Electronic resource] / M. A. Mikheenkova // *Issledovano v Rossii* [Researched in Russia] – URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/127.pdf>. – pp. 1342–1352 (accessed: 19.11.2021) [in Russian]

14. Pechenkina T.V. Pressovannye kompozicii iz dvuvodnogo gipsa i stroitel'nye materialy na ikh osnove [Pressed compositions from two-water gypsum and building materials based on them]: extended abstract of Candidate's thesis / T.V. pechenkina – Ufa, 2009. – 173 p. [in Russian]

15. Petropavlovskaya V.B. Formirovanie struktury i svojjstv v kondensirovannykh sistemakh bezobzhigovykh stroitel'nykh gipsovykh kompozicij [Formation of structure and properties in condensed systems of non-burnt gypsum construction compositions]: Doctor's thesis. Engineering / V. B. Petropavlovskaya. - Tver, 2021– 317 p. [in Russian]