

DOI: 10.12737/22022

¹Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.,¹Лесовик В.С., член-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф.,¹Воронов В.В., аспирант,²Чулкова И.Л., д-р техн. наук, проф.,³Куприна А.А., канд. техн. наук,¹Павленко О.А., аспирант¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия³ООО «ВНИИСТРОМ-НВ»

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ СУХИХ СМЕСЕЙ*

LHZ47@mail.ru

Твердение цементного камня – сложное явление, связанное с комплексом процессов химического и физического характера. Оно включает химические реакции минералов цементного клинкера и дополнительных компонентов с водой с образованием новых соединений – цементных минералов, физическим и химическим взаимодействием последних друг с другом, а в растворах и бетонах и с заполнителем, с созданием определенной пространственной структуры (структурообразованием) и закреплением образовавшегося пространственного расположения. Специфика твердения строительных растворов на основе сухих смесей отражается в трех этапах, включающих особенности приготовления и условий укладки раствора, особенностей формирования контактной зоны раствора с основанием, особенности твердения в тонких поверхностных слоях и особенности условий твердения композита.

Ключевые слова: специфика твердения сухих строительных смесей, структурообразование, технологический аспект твердения, закон сродства структур.

Введение. Сухие строительные смеси имеют многокомпонентный состав, включающий вяжущее вещество, наполнитель, заполнитель и комплекс модифицирующих добавок. Каждый компонент смеси и минеральный, и органический оказывает свое специфическое влияние на нано-, микро- и макросистему в целом. Характер нарастания и протекания процессов гидратации определяется используемым вяжущим веществом, его дисперсностью, наличием минеральных наполнителей, их природой, количеством и видом комплексных функциональных добавок. Все вяжущие твердеют под влиянием ряда общих факторов, что придает процессу твердения закономерный характер и позволяет направленно управлять структурообразованием в целом.

Основная часть. Твердение цементного камня – сложное явление, связанное с комплексом процессов химического и физического характера. Оно включает химические реакции минералов цементного клинкера и дополнительных компонентов с водой с образованием новых соединений – цементных минералов, физическим и химическим взаимодействием последних друг с другом, а в растворах и бетонах и с заполнителем, с созданием определенной пространственной структуры (структурообразова-

нием) и закреплением образовавшегося пространственного расположения [1–4].

Процесс твердения цемента может рассматриваться в трех аспектах: энергетическом, кинетическом и технологическом [2]. Энергетический аспект разработан наиболее четко: известны с достаточной на сегодня точностью, значения изменения свободной энергии и тепловые эффекты гидратации минералов, составляющих цемент [2, 8].

Кинетический аспект из-за сложности системы, несмотря на многочисленные глубокие исследования, значительно менее ясен. Огромное количество влияющих факторов позволило высказать более или менее надежные соображения только для процессов с участием мономинеральных вяжущих [1].

Особенно сложным является изучение технологического аспекта, так как здесь мы сталкиваемся с исключительно сложной динамической системой.

Технологический аспект твердения цементных композитов включает в себя целый ряд исключительно важных вопросов, прежде всего, условий создания композита на всех технологических этапах, начиная с подготовки сырьевых материалов до достижения целевого этапа – эксплуатационного, с учетом функционального назначения и условий службы компо-

зита, а отсюда – основные технологические, физико-механические, деформативные, эксплуатационные свойства, условия твердения и службы, требования по долговечности и т.д.

Формирование структуры строительных растворов, приготовленных из сухих строительных смесей, представляет собой достаточно сложный процесс, с учетом особенностей их назначения, приготовления, нанесения и условий службы.

Особенности твердения строительных растворов на основе сухих смесей можно представить в виде схемы (рис. 1), включающей особенности приготовления и условий укладки раствора, особенностей формирования контактной зоны раствора с основанием, особенности твердения в тонких поверхностных слоях и особенности условий твердения композита.

Рассматривая особенности твердения строительных растворов на основе сухих смесей и сравнивая их с ближайшим цементным композитом – бетоном, следует отметить, что мы имеем дело с принципиально различными системами. Так, бетон – это массивное изделие или конструкция определенного объема или формы, а строительный раствор – это материал, который наносится на различные основания тонкими слоями (толщиной до 2,5 мм). Кроме того для

бетонных изделий предусмотрены специальные нормируемые условия для процессов твердения. Строительный раствор наносится на поверхность, где невозможно создать благоприятные условия для его твердения, таким образом, раствор набирает прочность в достаточно жестких условиях окружающей среды, характеризующейся постоянным изменением внешних факторов.

По назначению бетоны и строительные растворы различны: бетон – это конструктивный несущий материал, а строительный раствор выполняет функции скрепляющего, выравнивающего, отделочного материала, а отсюда и требования к этим материалам. В соответствии с назначением эти материалы имеют сходные требуемые свойства, в частности, по прочностным свойствам (но с разными требованиями по показателям), по физическим свойствам (плотности, водо-, газонепроницаемости, морозостойкости), по деформативным свойствам (усадочные деформации). Однако эти материалы имеют особые отличия по техническим требованиям вследствие их функционального назначения, так, к строительным растворам предъявляются специфические требования по прочности сцепления с основанием, паропроницаемости, теплопроводности, трещиностойкости и т.д.

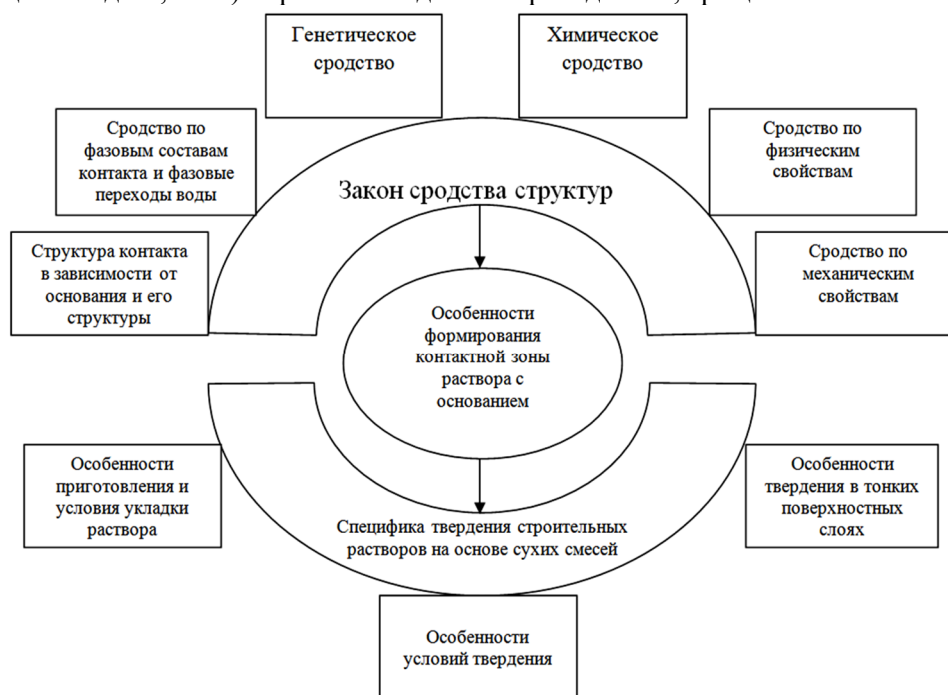


Рис. 1. Специфика твердения строительных растворов на основе сухих смесей

Особенности работы с сухими строительными смесями, т.е. приготовление их непосредственно перед укладкой в основание, определяют огромные потенциальные возможности для создания и регулирования направленного структурообразования в этих системах. Уже

при приготовлении растворов начинается подготовительная стадия последующей гидратации, интенсивное перемешивание, использование различных силовых полей способствуют более быстрому возникновению центров кристаллизации, возникновение зародышей твердой фазы из

пересыщенного раствора на поверхности подложек на несколько порядков выше, чем в объеме раствора и т.д.

Структура поверхностного слоя строительных растворов, как правило, отличается от внутренних слоев по ряду причин: атомы и молекулы, расположенные на наружной поверхностной части материала, имеют избыточную энергию по сравнению с частицами, расположенными внутри материала; кроме того, поверхностный слой материала, находясь в реальном контакте с окружающей средой, постоянно испытывает воздействия окружающей среды, как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации. Избыточная энергия поверхностного слоя возникает вследствие того, что каждая частица на поверхности твердого тела и жидкости имеет некомпенсированные химические связи, образующие на поверхности асимметричное силовое поле. Это силовое поле втягивает поверхностные частицы во внутрь материала, создавая на поверхности напряжение сжатия. Таким образом, поверхностный слой постоянно находится в упруго-напряженном состоянии, а его частицы обладают значительно большим запасом потенциальной энергии, чем частицы внутреннего слоя. Вследствие этого частицы поверхностного слоя более активно реагируют с окружающей средой, более активно вступают в химические реакции. Величина энергии поверхностного слоя прямо пропорциональна энергии химической связи данного материала и зависит от параметров окружающей среды. Так, например, поверхностная энергия твердого тела на границе с жидкостью, которая его смачивает, уменьшается на величину, равную силе взаимодействия поверхностных частиц с жидкостью. Значительное влияние на строение и поверхностных, и внутренних слоев материала оказывают примеси, смачивание поверхности активными жидкостями, диффузионные процессы. Примеси оказывают различное влияние на свойства внешних и внутренних слоев. Если примеси имеют меньшую поверхностную энергию, чем материал, то они равномерно распределяются по поверхности, уменьшая его энергию. Если большую, то концентрируются на отдельных участках поверхности или перемещаются во внутренние слои материала, где могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на его свойства.

Безусловно, основным определяющим фактором качества структуры строительных растворов является количество воды, введенное в эти системы и которое, во многом, определяет свойства растворных смесей и качество затвердевших растворов.

Смачивание имеет большое значение при формировании искусственных композиционных материалов и необходимо для уменьшения энергии поверхностей твердых составляющих, что позволяет получать более плотные упаковки частиц в создаваемых материалах. Диффузия представляет собой самопроизвольное перемещение частиц вещества, в результате которого устанавливается равновесное распределение концентрации этих частиц в объеме газа, жидкости и твердого тела.

Для гидратации клинкерных минералов в тонких поверхностных слоях твердеющей системе необходимо удержать воду. Это гарантируют используемые минеральные добавки (перлит, туф, шлаки) используемые в применяемых композиционных вяжущих при получении сухих строительных смесей. Применение тонкодисперсных композиционных вяжущих с наполнителями различной природы, с высокой удельной поверхностью значительно улучшает условия структурообразования водовяжущих систем. Кроме того на высокодисперсных подложках наполнителя в композиционных вяжущих активнее идут процессы гидратации и формирование гидросиликатов кальция на зонах контакта и матрицы. В первые минуты активно идет гидратация алюминатных фаз и портландита, т.к. они имеют положительный заряд, а подложки отрицательный заряд. На подложках идет избирательная адсорбция. При гидратации клинкерные минералы поглощают значительное количество воды, а частично вода удерживается полимерными добавками, вводимыми в сухие смеси. Таким образом, полимеры, кроме своего функционального назначения удерживают определенное количество воды, отдаваемое по мере протекания гидратации. Кроме того, полимерные пленки препятствуют карбонизации в тонких слоях, т.к. полимер затрудняет диффузию и препятствует карбонизации.

Огромное влияние на специфику твердения растворов на основе сухих смесей оказывают особенности формирования контактной зоны раствора с основанием. Рассматривая создание контактной зоны двух различных материалов: основания-матрицы и наносимого раствора с теоретических позиций, накопленных и имеющихся знаний по данному вопросу, то необходимо знать основные свойства каждого материала, их генетические особенности, их макро-, микро- и наноструктуру, требуемые физико-механические и эксплуатационные характеристики, назначение и условия службы данной конструкции. С целью создания надежной и долговечной работы создаваемых контактных

зон в различных строительных изделиях и конструкциях мы использовали предложенный нами закон сродства структур в материаловедении, устанавливающий причинно-следственные связи, взаимодействующие между собой, определяющие свойства общей системы в целом. Закон сродства структур предусматривает сродство структур основного и наносимого материала по следующим факторам: сродство по фазовым составам контакта и фазовым переходам воды, химическому сродству, генетическому сродству контакта, по структуре контакта в зависимости от основания и его структуры, сродства по механическим и физическим свойствам [5, 6]. Использование предложенного закона позволило получать прогнозируемые высокопрочные композиты [5–17] с заданными свойствами.

Если бетонные изделия изготавливаются на заводе или формируются в условиях строительного объекта, где создаются все необходимые условия для гидратации вяжущих (соответствующий уход за свежесформованным бетоном), что обеспечивает требуемую прочность бетона, то при выполнении работ по нанесению строительных растворов таких условий создать не представляется возможным, за исключением некоторых работ, в частности, по устройству наливных полов. Условия твердения строительных растворов очень жесткие, здесь возможно воздействие и инсоляции, вследствие чего происходит быстрое обезвоживание поверхностных слоев раствора; возможно ветровое воздействие, что приводит к обезвоживанию поверхности растворного слоя, а учитывая его тонкий слой – этот факт приводит к нарушению процессов твердения и преждевременному разрушению. Переизбыточное переувлажнение растворного слоя вследствие атмосферных осадков в виде дождя опять же отрицательно отражается на эксплуатационных характеристиках композита.

Выводы. Знание специфики твердения строительных растворов на основе сухих смесей и выполнение комплекса мероприятий по их реализации обеспечат необходимые условия для гидратации, последующего набора прочности, достижения необходимых физико-механических и эксплуатационных показателей раствора и их долговечности.

**Работа выполнена в рамках договора РФФИ №14-41-08002 «Теоретические основы проектирования и создания интеллектуальных композитов заданными свойствами» и з/б НИР №1978 от 31.01.2014 г. «Повышение эффективности производства энергосберегающих, инвестиционно-привлекательных стеновых и отде-*

лочных материалов за счет использования неорганических пластифицирующих систем».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. Стройиздат, 1988. 304 с.
2. Мчедлов-Петросян О.П., Бабушкин В.И. Термохимия и термодинамика негидратированных и гидратированных цементных минералов. Тр. VI Межд. конгресса по химии цемента. Т. II, кн. 1. М.: Стройиздат, 1976. С. 6–16.
3. Пашенко А.А. Теория цемента. / Под ред. А.А. Пашенко. Киев: Будивельник, 1991. 165 с.
4. Тейлор Х. Химия цемента. Мир, 1998. 537 с.
5. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // *Фундаментальные исследования*. 2014. №3. Ч.2. С. 267–271.
6. Zagorodnuk L.H., Lesovik V.S., Shkarin A.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating Effective Insulation Solutions, Taking into Account the Law of Affinity Structures in Construction Materials // *World Applied Sciences Journal*. 2013. Т. 24. № 11. С. 1496–1502.
7. Шкарин А.В., Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю., Лугинина И.Г. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2012. №4. С. 53–57.
8. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 462 с.
9. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Яковлев Е.А., Шейченко М.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // *Вестник БГТУ им. Шухова*. 2009. №1. С. 30–33.
10. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю. Высокоэффективные композиционные вяжущие с использованием наномодификатора // *Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*, 2010. С. 90–94.
11. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // *Строительные материалы*. 2014. №7. С. 82–85.
12. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Шамшуров А.В., Беликов Д.А. Композиционные вяжущие на основе органо-минерального модификатора для сухих ремонтных смесей // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2014. № 5. С. 25–31.

13. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Беликов Д.А. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур // Вестник Центрального регионального отделения РААСН, Выпуск 18. Москва. 2014. С. 112–119.

14. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal. 2014. Т. 11. № 12. С. 948–953.

15. Kuprina A.A., Lesovik V. S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Т. 9. № 11. С. 816–819.

16. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagorodnyuk L. Kh., Volodchenko A. A., Popov D. Y. The Role of the Law of Affinity Structures in the Construction Material Science by Performance of the Restoration Works // Research Journal of Applied Sciences, 2014. Т. 9. Р. 1100–1105.

17. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Практическая реализация закона сродства структур при реставрации исторических объектов // Научные технологии и инновации: Сб. докл. Международной научно-практич. конференции, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. Ч.3.С. 242–246.

Zagorodnyuk L. H., Lesovik V.S., Voronov V.V., Chulkov I.L., Kuprin A.A., Pavlenko O.A.
FEATURES OF HARDENING OF MORTARS ON THE BASIS OF DRY MIXES

The hardening of the cement stone is a complex phenomenon associated with the complex chemical and physical in nature. It involves chemical reactions of minerals of cement clinker and optional components with water to form new compounds - cement, minerals, physical and chemical interaction of the latter with each other, and in solutions and concrete, and filler, creating a specific spatial structure (structure formation) and fixing of the formed spatial location. Specifics of hardening of mortars on the basis of dry mixes is reflected in three stages, including the features of the conditions of preparation and styling of the solution, characteristics of the formation surface area of the solution with base, features hardening in thin surface layers and features of the conditions of hardening of the composite.

Key words: *specificity of hardening dry mixes, structure formation, the technological aspect of hardening, the law of affinity structures.*

Загороднюк Лилия Хасановна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: LHZ47@mail.ru

Лесовик Валерий Станиславович, член-корр. РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: naukavs@mail.ru

Воронov Василий Васильевич, аспирант, кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чулкова Ирина Львовна, доктор технических наук, профессор.

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

Адрес: Россия, 644080, г. Омск, пр. Мира 5

Куприна Анна Александровна, кандидат технических наук, начальник лаборатории ООО «ВНИИСТРОМ-НВ»

Адрес: 140050, Московская обл., Люберецкий р-н, п. Красково, ул. К. Маркса, 117

Павленко Ольга Александровна, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.