

Об авторах:

МАГДЕЕВ Андрей Шавкатович – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: andrey1649@yandex.ru

ЛЕВИКОВ Александр Валерьевич – кандидат философских наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: leviksa@mail.ru

About the authors:

MAGDEEV Andrey Shavkatovich – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: andrey1649@yandex.ru

LEVIKOV Alexander Valeryevich – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: leviksa@mail.ru

УДК. 691.322

ПОВЫШЕНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ САМОАРМИРОВАННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРЕМЫЧЕК

**Т.Б. Новиченкова, И.А. Иванов,
В.Б. Петропавловская, К.С. Петропавловский**

© Новиченкова Т.Б., Иванов И.А.,
Петропавловская В.Б., Петропавловский К.С., 2024

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные аспекты повышения водостойкости изделий, изготовленных на основе самоармированных гипсовых вяжущих и самовыращенного этtringита. Дан краткий анализ основных методов повышения водостойкости, разработанных на данный момент. Сделан вывод о возможности получения гипсовых изделий, обладающих прочностью и повышенной водостойкостью.*

***Ключевые слова:** гипсовое вяжущее, водостойкость, этtringит, парафиновая эмульсия, композиционные материалы.*

ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня экологической и пожарной безопасности, а также эффективности, качества, долговечности и надежности строительных материалов и конструкций является одной из актуальных задач современного строительства. При оценке строительных материалов

необходимо учитывать, что в последние годы стоимость энергоносителей значительно возросла, поэтому важной задачей становится разработка новых эффективных сочетаний недефицитных материалов, которые отличаются повышенными физико-механическими характеристиками и сниженной себестоимостью [1]. Одним из таких материалов является гипсовое вяжущее. Неотъемлемые преимущества изделий из гипса – распространенность применяемого сырья, простота и экологичность его обработки, низкие затраты топлива и энергии при производстве материалов и изделий из гипса. Изделия на основе гипса легкие, обладают малой звуко- и теплопроводностью, имеют высокую огнестойкость.

Получение модифицированных композиций на основе двухводного гипса повышенной водостойкости с сохранением всех достоинств гипсовых материалов может повысить производительность труда, расширить область применения и снизить сметную стоимость строительства [2].

Наряду с положительными свойствами гипсовым изделиям присуща невысокая водостойкость. Это свойство гипсовых изделий сокращает область и масштабы их применения в строительстве [3]. Во многом из-за этого недостатка гипсовые изделия до сих пор не получили достаточно широкого распространения в промышленном и гражданском строительстве [4]. Область применения гипсовых материалов и изделий ограничена относительной влажностью помещений до 60–75 % [5].

Анализируя различные литературные источники, можно прийти к выводу, что повышение водостойкости гипса достигается уменьшением растворимости в воде сульфата кальция, уплотнением гипсовой массы, пропиткой изделия веществами, препятствующими прониканию в него влаги, и наружной защитной обмазкой изделий.

Цель работы – изучение способов повышения водостойкости самоармированных гипсовых вяжущих.

АРМИРОВАНИЕ ПОЛУВОДНОГО ГИПСА КРИСТАЛЛАМИ ГИДРОСУЛЬФОАЛЮМИНАТА

Армирование – это процесс внесения частиц в материал для увеличения его прочности и долговечности. Одной из областей, где применяется данная технология, является усиление гипсовых перемычек с использованием этtringита.

Гипсовые перемычки – конструктивные элементы, которые прокладываются между проемами при строительстве (например, между окнами или дверными проемами). Они играют роль опоры для стен и выполняют функцию распределения нагрузки. В силу своей хрупкости стандартные гипсовые перемычки могут подвергаться повреждениям или деформациям со временем.

Технология армирования гипсового вяжущего (с образованием этtringита) – это инновационное решение, которое является результатом передовых научных исследований в области строительства и строительного материаловедения. Данная технология позволяет сочетать прочность гипсовых конструкций с преимуществами нанотехнологий и тем самым дает возможность создавать более прочные и долговечные материалы и изделия на основе гипсового вяжущего [6]. Получающийся в процессе структурообразования этtringит представляет собой соединение с высокой плотностью и прочностью, которое дополнительно «самоупрочняет» гипсовую матрицу и приводит к получению высокоэффективных строительных композитов по упрощенной технологии на основе традиционных гипсовых вяжущих. Армированные гипсовые перемычки, произведенные с использованием самоармирования, обладают улучшенными механическими свойствами, такими как высокая прочность, устойчивость к растрескиванию и повышенная стойкость к нагрузкам.

Кроме вышеуказанного, данная технология способствует более равномерному распределению наночастиц по всей структуре гипсовых перемычек, что повышает их эффективность и надежность. Это позволяет уменьшить количество трещин и повреждений, благодаря чему увеличивается срок службы гипсовых перемычек и повышается уровень безопасности. Одним из преимуществ армированных гипсовых перемычек является их экологическая чистота. Гипс – экологически безопасный материал, а добавление этtringита не только улучшает его физические свойства, но и не наносит вреда окружающей среде. Таким образом, данная технология выступает перспективным направлением развития строительной отрасли, поскольку сочетает в себе эффективность, надежность и устойчивость к нагрузкам при соблюдении экологических принципов, в том числе и для создания перемычек.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Водостойкостью считают степень снижения прочности материала при предельном его водонасыщении. Водостойкость численно характеризуется коэффициентом размягчения (K_p). Коэффициент размягчения определяется отношением прочности материала, насыщенного водой (R_n), к прочности материала в сухом состоянии (R_c).

Принято считать, что природные и искусственные строительные материалы, применяемые в подводных конструкциях или в конструкциях, находящихся в сырых местах, должны иметь коэффициент размягчения не ниже 0,8 [6].

Так, например, водостойкость гипсового вяжущего (ООО «КНАУФ Гипс Красногорск») повышали тремя способами: модифицированием

вяжущего полимерными добавками (гиперпластификатором Melflux 5581 F, редуцируемым полимерным порошком Vinnapas 8031 H, гидрофобизатором Silres BS 1306), поверхностной пропиткой образцов раствором Silres BS 1306 и созданием смешанного гипсоцементно-пуццоланового вяжущего [7].

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Важную роль при твердении дисперсной системы двуводного гипса играет не только состав затворителя (дисперсионной среды), но и его количество. Это объясняется тем, что в условиях полусухого прессования смесей на основе двуводного гипса требуется обеспечить сближение частиц на расстояния, необходимые для образования первичных контактов, развивающихся в дальнейшем в кристаллизационную структуру. Достичь этого возможно только за счет низкого водосодержания смеси и высокого давления (или при невысоком давлении, но при высоком пересыщении). Благодаря этому выполняются условия образования кристаллизационных контактов [8].

Как видно из рис. 1, коэффициент размягчения прессованных материалов на основе воздушных вяжущих веществ увеличивается с уменьшением открытой пористости. Однако при одной и той же ее величине коэффициент размягчения затвердевшего модифицированного магнезиального цемента выше коэффициента размягчения прессованного модифицированного гипсового вяжущего [9].

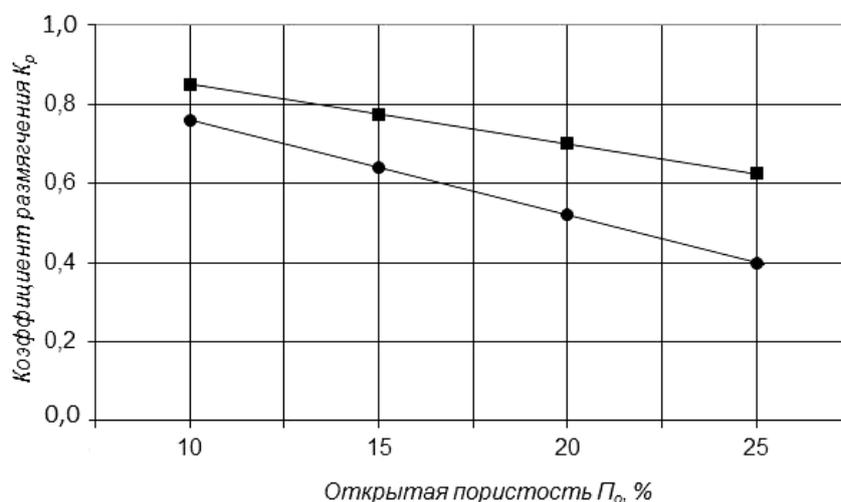


Рис. 1. Зависимость коэффициента размягчения прессованных композитов от величины их открытой пористости (водопоглощения по объему): ■ — на основе магнезиального цемента; ● — гипсового вяжущего [9]

Под влиянием щелочной среды усиливается полярность молекул воды. Это вызывает соответствующее упрочнение ее связей в слоях структуры двугидрата, а следовательно, и прочность фазовых контактов между частицами двуводного гипса при негидратационном твердении [10].

Выявлено, что при давлении, равном 5 МПа, не наблюдается заметного повышения прочности и водостойкости при изменении водородного показателя. Это связано, по-видимому, с тем, что в системе не происходит переупаковка частиц для формирования плотной упаковки зерен ввиду применения недостаточно высокого давления. При этом рост используемого давления в диапазоне от 15 до 30 МПа позволяет повысить прочность и водостойкость [10].

Проведенные исследования показали повышение коэффициента размягчения при введении в состав гипсовых вяжущих микрокремнезема и шлама очистки ТЭЦ, а также зависимость коэффициента размягчения от количества циклов увлажнений-высушиваний [11].

ПРИМЕНЕНИЕ КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК

Известным эффективным приемом повышения водостойкости гипсовых вяжущих является введение активных минеральных добавок, молотых гранулированных доменных шлаков, зол-уноса в сочетании с портландцементом или известью [12].

Физико-химическими методами исследования установлено, что в модифицированном микрокремнеземом цементном камне содержание гидроксида магния понижается и появляются труднорастворимые гидросиликаты магния типа серпентина $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и сепиолита $8\text{MgO}\cdot 12\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$. Композиты с горелой породой, кроме гидросиликатов, содержат еще гидроалюминаты и гидроалюмосиликаты магния типа палыгорскита $\text{MgO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Термодинамические аспекты образования этих соединений при обычных условиях твердения доказаны. Кроме этого, выявлено, что твердение идет через гелевидную фазу в сочетании с образованием микрокристаллических гидросиликатов, гидроалюмосиликатов и оксихлоридов магния, а коллоидные частицы микрокремнезема и горелой породы являются дополнительными центрами кристаллизации этих новообразований [13]. Образцы, изготовленные из смесей, содержащих 10–15 % микрокремнезема, обладают наиболее высокими физико-механическими показателями: прочностью на сжатие – 60–65 МПа, коэффициентом размягчения – 0,78–0,84 [14].

Результаты проведенных исследований показывают, что комплексная модификация гипсового вяжущего карбонатсодержащим наполнителем и моноаммонийфосфатом оказывает положительное влияние на структуру, прочность и водостойкость затвердевшего прессованного материала. Обусловлено это в первую очередь

химическим взаимодействием моноаммонийфосфата с сульфатом кальция вяжущего и карбонатом кальция наполнителя [15].

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАФИНОВОЙ ЭМУЛЬСИИ (СУСПЕНЗИИ)

Для повышения водостойкости при производстве изделий из гипса и гипсокартоновых панелей используют, как правило, силиконовые кремнийорганические жидкости – полиметилсилоксаны, стоимость которых за последнее время значительно выросла [16, 17]. Альтернативой для замены полиметилсилоксана может стать парафин, однако введение и равномерное распределение твердого парафина в гипсовой смеси технологически невозможно. В связи с этим предлагается использовать парафиновую эмульсию. Возможность данного способа введения подтверждается в ряде зарубежных работ [18–21].

Парафиновая эмульсия представляет собой смесь шариков твердого парафина с водой в присутствии эмульгаторов поверхностно-активных веществ. С точки зрения коллоидной химии правильнее называть эту смесь не эмульсией, а суспензией, так как агрегатное состояние дисперсной фазы (парафин) и дисперсионной среды (вода) разные. Однако словосочетание «парафиновая эмульсия» уже давно закрепилось за этим типом продукции, которая в качестве гидрофобизатора нашла широкое применение во всем мире в деревообрабатывающей промышленности при производстве плит ДСМ, МДФ, ОСБ и ДВП [22].

Отличительной чертой данных видов эмульсий являются специально подобранные эмульгаторы, позволяющие предотвратить коалесценцию парафина при взаимодействии с гипсовым вяжущим. Такие эмульсии вводятся в гипсовое вяжущее с водой затворения, равномерно распределяются по всему объему гипсовой смеси и при этом незначительно влияют на величину нормальной густоты вяжущего.

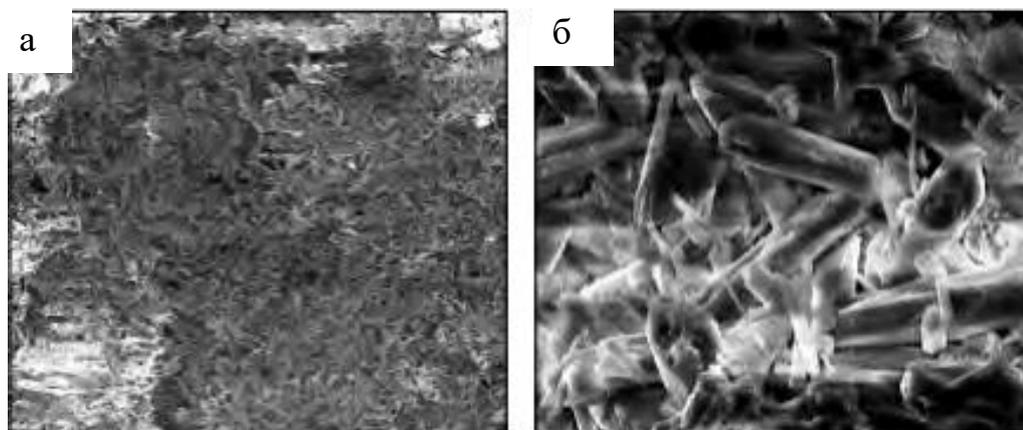


Рис. 2. Структура гипсового камня при увеличении:
а – $\times 500$; б – $\times 3\ 900$

Влияние парафиновых эмульсий на физико-механические свойства гипсового вяжущего определялось на основе вяжущего Г-5 Б II с водогипсовым отношением 61 %. В контрольный состав вводились три вида парафиновых эмульсий в количестве 5 % от вяжущего (в пересчете на парафин).

Введение парафиновой эмульсии позволяет значительно снизить водопоглощение с 34,8 до 5,3 % и повысить коэффициент размягчения с 0,35 до 0,72 при снижении прочностных характеристик в высушенном состоянии до 15 % [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя различные литературные источники, можно прийти к выводу, что повышение водостойкости самоармированного гипса достигается в основном:

уплотнением гипсовой массы,
уменьшением растворимости в воде сульфата кальция,
смешиванием гипса с парафиновой эмульсией,
пропиткой гидрофобизаторами.

Прессование, являясь способом повышения водостойкости, выступает довольно энергозатратным процессом, а пропитка не в достаточной степени эффективна для гипсовых изделий, используемых при внешней отделке. Менее трудозатратный, а также наиболее эффективный и экономичный способ – введение в состав гипсовой смеси парафиновой эмульсии.

Библиографический список

1. Шулепова А.В., Соскин М.И. Перспективы использования микроармированных гипсовых композиционных материалов // Бакалавр. 2018. № 3. С. 48–53.
2. Петропавловская В.Б. Использование минеральных ультрадисперсных модификаторов на основе отходов промышленности в гипсовых композитах // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 18–23.
3. Сопегин Г.В., Семейных Н.С., Рустамова Д.Ч. Энергосберегающая технология получения безобжиговых материалов с использованием техногенного сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 129–138.
4. Щукина Е.Г., Щукин Е.А. Ресурсосберегающие безобжиговые гипсовые композиты // Вестник ВСГУТУ. 2022. № 2 (85). С. 87–92.
5. Ассакунова Б.Т., Байменова Г.Р., Аманкулов М.А. Композиционные безобжиговые гипсовые вяжущие вещества из местного сырья // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2017. № 10. С. 26–28.

6. Петропавловский К.С. Самоармированные гипсовые материалы с комплексным модификатором: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГСУ, 2020. 185 с.

7. Потапова Е.Н., Исаева И.В. Повышение водостойкости гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2012. С. 20–22.

8. Самченко С.В., Марголис Б.И. Влияние условий структурообразования на свойства прессованных гипсовых материалов // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции. М.: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2021. С. 277–280.

9. Гипсовые и магнезитовые прессованные композиты повышенной стойкости к попеременному увлажнению и высушиванию / А.В. Каклюгин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2022. № 1 (757). С. 31–43.

10. Михеенков М.А. Прессование как способ повышения водостойкости гипсового вяжущего // Вестник МГСУ 2016. № 4. С. 158–166.

11. Бебиа Г.А., Осянина Е.Э. Применение гипсовой плитки для наружной отделки зданий // Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 53-й научно-технической конференции: в 3 ч. Ульяновск: УлГТУ, 2021. Ч. 1. С. 100–103.

12. Комплексная оценка эффективности применения гипсового вяжущего повышенной водостойкости / А.И. Панченко [и др.] // Строительные материалы. 2016. № 12. С. 72–75.

13. Золотухин С.Н., Кукина О.Б., Абраменко А.А. Эффективные безобжиговые строительные материалы на основе фосфогипса // Современное строительство и архитектура. 2016. № 4. С. 8–14.

14. Использование кремнеземсодержащих промышленных отходов в технологии композиционных гипсовых вяжущих / И.В. Старостина [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2021. № 13. С. 178–181.

15. Барковская С.В., Пчельникова С.А. Разработка композиционных гипсовых вяжущих веществ с использованием керамзитовой пыли и стеклобоя // Эксперт: теория и практика. 2022. № 3. С. 34–38.

16. Способ получения влагостойких изделий на основе гипса: пат. 2381902 Рос. Федерация / Веерамасунени С., Капакаса К.; заявл. 25.07.2005; опубл. 20.02.2010, Бюл. № 5. 13 с.

17. Способ получения гипсовой древесноволокнистой продукции с повышенной водостойкостью и способ получения гипсового древесноволокнистого листа с повышенной водостойкостью: пат. 2210553 Рос. Федерация / Инглерт Марк Х.; заявл. 09.12.1997; опубл. 20.08.2003.

18. Compositions, Emulsions, and Methods for Making Compositions and Emulsions [Композиции, эмульсии и способы получения композиций и эмульсий]: пат. 20130053481 US / E. R.-N. Buena [and etc.]; заявл. 17.08.2012; опубл. 28.02.2013. 19 с. (In English).

19. A Water-resistant Gypsum Compositions and Emulsion for Making Same [Водостойкие гипсовые композиции и эмульсии для их приготовления]: пат. 5437722 US / L. Borenstein; заявл. 01.03.1994; опубл. 01.09.1995. 5 с. (In English).

20. Rale M.T. Was-based Emulsifiers for Use in Emulsions to Impart Water Repellency to Gypsum Wallboard. McMaster University. 2012. URL: <https://macsphere.mcmaster.ca/bitstream/11375/12612/1/fulltext.pdf> (дата обращения: 23.12.2023).

21. Wang F.F., Li G.Z., Liu M.R. Effect of Waterproof Emulsion on Properties of Calcined Gypsum from Flue Gas Desulfurization // Advanced Materials Research. 2011. Vol. 168–170. P. 478–481.

22. Плотникова Г.П., Плотников Н.П. Модификация парафиновых эмульсий для производства древесностружечных плит // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2 (18). С. 147–151.

INCREASING THE WATER RESISTANCE OF SELF-REINFORCED GYPSUM BINDER FOR THE PRODUCTION OF JUMPERS

**T.B. Novichenkova, I.A. Ivanov,
V.B. Petropavlovskaya, K.S. Petropavlovskii**

***Abstract.** This article discusses the main aspects of increasing the water resistance of products made on the basis of gypsum binders and self-grown ettringite. A brief analysis of the main methods of increasing water resistance developed at the moment is given. The conclusion is made about the possibility of obtaining gypsum products with strength and increased water resistance.*

***Keywords:** gypsum binders, water resistance, mineral additives, ettringite, composite materials.*

Об авторах:

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

ИВАНОВ Игорь Александрович – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: ivanov9960@yandex.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

About the authors:

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

IVANOV Igor Alexandrovich – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: ivanov9960@yandex.ru

PETROPAVLOVSKAYA Viktoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

PETROPAVLOVSKII Kirill Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com