

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-8-8-17

Наумова Л.Н.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: sagadeev@list.ru

ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ВОЛОКНА ХРИЗОТИЛА

Аннотация. В статье рассмотрены возможности улучшения физико-механических показателей получения хризотилцементных композитов на стадии подготовки сырьевого компонента, использовании разных способов формирования пленки и отверждения полуфабриката. Предлагаемый подход позволит повысить конкурентную способность выпускаемых изделий, способствовать экономии сырьевых ресурсов, улучшить качество готового продукта. Получен цементный композиционный материал на основе расщепленных волокон хризотила за счет их обработки раствором $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ в режиме турбулентной среды гидروпушителя. Показано увеличение адсорбционной поверхности расщепленных волокон хризотила на основе метода определения качества распушки волокон. Проведен сравнительный анализ полученных физических, физико-механических характеристик полуфабриката и готовых изделий с использованием предлагаемой добавки на разной стадии технологического процесса и способа производства. Показано положительное влияние модифицирующего фактора на стадии фильтрационных процессов формирования полуфабриката, твердения в его растворе и увеличении прочностных показателей. Установлено, повышение предела прочности при изгибе хризотилцементных композиций на модифицированном волокне и – твердеющих в растворе натриевого жидкого стекла.

Ключевые слова: цементный композиционный материал, волокна хризотила, натриевое жидкое стекло, унос частиц, плотность, водопоглощение, пористость, предел прочности при изгибе.

Введение. До настоящего времени хризотилцементные композиционные материалы пользуются спросом населения и являются конкурентной продукцией на рынке строительных материалов. Спектр выпускаемых видов продукции разнообразен – это волнистые и плоские кровельные материалы, трубы, облицовочные фасадная плитка и сайдинг, напольные и подоконные изделия, комплектующие изделия [1, 2].

Данный вид изделий заслуживает внимания за счет использования в цементном композите волокон хризотила, обладающих множеством полезных характеристик [3], в том числе, способных расщепляться на тончайшие фибриллы и тем самым формировать значительную область контактов с цементными частицами для достижения его прочности. В производстве [4] хризотилцементных изделий важной технологической операцией является процесс распушки исходного волокна. Данная операция осуществляется с использованием промышленных агрегатов – бегунов и гидропушителя, позволяющих на первой стадии уменьшить агрегативную связность между волокнами и затем в турбулентном водном потоке увеличить их адсорбционную поверхность [5, 6].

Прочность волокон хризотила на разрыв больше, чем у стали и составляет в пределах 3000

МПа, температура их плавления – 1500 °С. Обладая низкой электропроводностью их применение основано в производстве высококачественных электроизоляционных материалов. Свойства негорючести и высокой теплостойкости [7] позволяют использовать волокна в производстве теплоизоляционных композиционных материалов. Волокна не растворяются в воде и являются химически инертными по отношению воздействия солнечной радиации, щелочей, озона и кислорода воздуха [ГОСТ 18124–2012]. Такое многообразие полезных свойств хризотила и неприязательность по отношению к другим дисперсным системам [8] позволяют использовать его в сочетании с разными наполнителями и связующими [9, 10].

Объектами исследования являются волокна хризотила и хризотилцементный композит, полученные при разных технологических методах. От состояния распушенности волокон хризотила зависят технологические режимы формирования полуфабриката и готовой продукции. Волокна, поступающие в производство, имеют разное качество самого волокна, начиная с дробления и извлечения их из горных пород, отделении с волокон частиц породы на обогатительных предприятиях, с использованием разного оборудования. Поэтому пройдя такую длинную цепочку их очистки – некоторые из них частично распу-

шены, некоторые – с изломами, и могут оставаться пучки нераспушенных волокон. Качество хризотилцементных композиций, в первую очередь, зависит от адсорбционной способности поверхности волокон, формирующейся в результате их распушки. Целью данной работы является структурирование хризотиловой взвеси волокон в водной среде $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ и на основании этого улучшение качественных показателей формирования пленки полуфабриката и готового композита.

Материалы и методы исследования. Раствор модификатора $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ выбран с точки зрения технологического и экономического подходов для достижения положительного результата в формировании хризотилцементной композиции. Сущность метода заключалась в том, чтобы на стадии обработки неоднозначной волокнистой системы получить наиболее полное расщепление ее пучков, что будет способствовать увеличению адсорбционной способности системы и на выходе получить готовый продукт с улучшенными свойствами.

Технология производства хризотилцементных композиционных изделий опирается на методы прессования, фильтрации и экструзии. Получение экспериментальных хризотилцементных образцов проводили двумя способами – методами фильтрации и полусухого прессования. Данный подход имел своей целью сравнительный анализ получаемых технологических показателей и с учетом этого для какого вида выпускаемых хризотилцементных изделий подходят выбранные технологии: кровельных, конструкционных, труб, фасадных панелей, тепло- и электроизоляционных плит [1,4].

Метод фильтрации при изготовлении хризотилцементных образцов заключался в приготовлении сырьевой смеси, которая состояла из хризотила полужесткой текстуры марки А-5-65 Баженовского месторождения и портландцемента для производства хризотилцементных изделий. Количественное соотношение волокон хризотила и частиц портландцемента в смеси составляло 12,5 и 87,5 масс.%. Хризотил отбирали на заводе N1 ОАО «БелАЦИ». Концентрация хризотилцементной суспензии составляла 12%. Навеску хризотила помещали в емкость с водой и проводили перемешивание суспензии в мешалке пропеллерного типа. По истечении 5-ти минутной обработки при включенном режиме работы мешалки в нее помещали порцию цемента и затем процесс перемешивания продолжался в пределах 7 мин. По истечении указанного времени полученную хризотилцементную суспензию фильтровали с помощью вакуум-насоса для получения слоя хризотилцемента. Затем

сформировавшийся образец подвергали прессованию при удельном давлении 50 кгс/см^2 с применением ручного пресса ПГПР-4. Полученные образцы-полуфабрикаты ($10 \times 10 \times 30 \text{ мм}$) далее подвергали водонасыщению и затем – воздушному твердению в течение 5 суток [18, 19].

При использовании нами способа прессования полусухих порошков количественное соотношение сырьевых компонентов было отличающимся от предыдущей технологии и составило: хризотила – 15 масс. %, портландцемента – 85 масс.%. Характерная особенность данной технологии заключается в том, что смешение сырьевых компонентов проводится сухим способом при тщательном перемешивании ручным инструментом в течение 10 мин. По истечении указанного времени в смесь добавляли 15 % воды от массы сухих ингредиентов и продолжали перемешивание при том же промежутке времени. Режим формования, размер образцов был аналогичен с предыдущей технологией. Следующая операция заключалась в паровоздушном твердении образцов на водяной бане в течение 3,5 часов при относительной влажности воздуха 80 % и температуре пара 60°C . По окончании указанного времени их вынимали и охлаждали до комнатной температуры. Затем подвергали кратковременному 30-ти минутному водонасыщению в ванне с водой комнатной температуры и воздушному твердению в течение 5 суток [20].

Степень распушки хризотила определяли по скорости седиментационной способности дисперсных частиц в определенном количестве модифицированного раствора (ГОСТ 12871–2013).

Оценку качества зернистости цементных частиц проводили методом воздухопроницаемости через их слой в гильзе прибора [ГОСТ 310.2–76]. Поведение дисперсных частиц цемента в воде и при их твердении оценивали по показателям нормальной густоты цементного теста, сроков начала и конца отвердевания портландцемента, количества выделяющейся воды при его твердении. Полученные при гидратации кристаллические фазы портландцемента оценивали с помощью рентгенофазового анализа [12]. Также на основе рентгеновских кривых оценивали полученные продукты взаимодействия портландцемента с раствором $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Рентгенофазовый анализ выполняли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3,0. Для проб хризотила большую часть съемок производили в следующем режиме: предел измерения – 4000 ипп/с; постоянная времени – 1 с.

Также использовали и другой подход для того, чтобы получить полную дифракционную картину – проводили съемку с вращением кристаллов хризотила, участвующих в отражении.

Данный подход проводили в монохроматическом рентгеновском излучении с вращением образцов в различных режимах: предел измерения 1000–2000 имп/с; постоянная времени 0,5; 1; 2,5 с; скорость поворота счетчика 1; 2; 4 °/мин; щель № 3 – 0,5; 0,25 мм.

Дериватографический анализ проводили на дериватографе системы Ф. Паулик, И. Паулик и Л. Эрдеи (фирма "МОМ", Венгрия) по методике [13]. Температурный режим – до 1000 °С. Пробу массой 0,3–0,8 г тщательно измельчали, помещали в платиновый тигель. В качестве инертного вещества использовали порошок прокаленного при 1250 °С в течение трех часов. оксида алюминия модификации –альфа. В печи дериватографа были установлены платина-платино-родиевые термпары. Режим процесса: подъем температуры – скорость 20 град/мин. Чувствительность ДТА – 1/5, ДТГ – 1/5.

Предел прочности при изгибе является основным показателем прочности хризотилцементных композиций [14]. Данный показатель оценивали на образцах-балочках размером 10×10×30 мм согласно методике [ГОСТ 18124–2012].

Хризотилцементный композит, полученный методом фильтрации, исследовали на тепло-, морозо- и атмосферостойкость. На теплостойкость

образцы помещали в муфельную печь и нагревали их до температуры 600 °С, выдерживали в течение 15 мин, охлаждали при остывании муфельной печи. На атмосферостойкость – образцы находились в естественных условиях в течение 28 сут. На морозостойкость испытание образцов проводили в морозильной камере [20].

Основная часть. Операция по улучшению качества расщепления волокон хризотила и повышения технологических и эксплуатационных характеристик хризотилцементных изделий состояла во введении раствора жидкого стекла $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ с силикатным модулем 3,5, плотностью – 1,36 г/см³. Количество вводимого препарата составило 0,5 мл на 10 г хризотила. Данный состав вводили в водный раствор хризотиловых волокон, помещенных в однолитровый цилиндр, перед процессом их расщепления. Суть данной обработки заключается в том, что создается своего рода турбулентность потока движущихся частиц ручным способом (специальная методика) и при его прекращении происходит седиментация волокон, распределенных в объеме цилиндра [ГОСТ 12871–2013]. Через определенный промежуток фиксировали количество осевших частиц. Результаты проведенной оценки представлены на рис. 1.

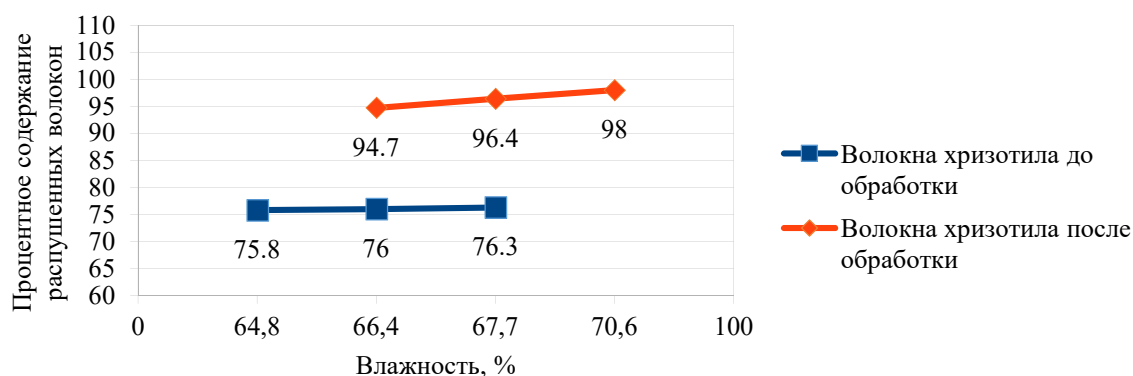


Рис. 1. Качество расщепленных волокон хризотила

Введение натриевого жидкого стекла [14] в суспензию товарных волокон хризотила на стадии их распушки приводит к увеличению показателя на 22 % и это говорит о том, сорбционная способность волокон возросла, что скажется на физико-механических свойствах хризотилцементного.

При производстве хризотилцементных композитов важно знать дисперсные характеристики [8, 15] применяемого портландцемента, его гранулометрический состав, а также – минералогический, потому что при их смешении в турбосмесителе важна их однородно распределенная масса на поверхности волокон хризотила. Полу-

ченная смесь дальше совместно работает в фильтрационных процессах при формировании хризотилцементного слоя по полотну технического сукна листоформовочной машины и дальше по цепочке – свойств свежесформованного полуфабриката, кинетике предварительного твердения изделий и качестве готового изделия [ГОСТ 18124–2012]. Однородность [16] хризотилцементной композиции должна опираться на высокую адгезию гидратирующихся цементных частиц на поверхности хризотилового волокна для того, чтобы на стадии технологической операции не происходило расслаивания в результате седиментации цементных зерен. Структурная

особенность хризотилцементной массы напрямую связана со скоростью ее фильтрации [19]. В цепочке технологического передела она является одной из важных составляющих: при формировании композита – зависит от размеров частиц твердой фазы, от степени и скорости образования гидратированных фаз, в конечном итоге – сказывается на качестве полуфабриката и готового изделия. При данной технологии портландцемент должен иметь пониженную водоудерживающую способность для того, чтобы при формировании непосредственно хризотилцементного слоя и

наката удаление влаги в процессе фильтрации протекало эффективно.

Входной контроль портландцемента заключался в определении его удельной поверхности (составила $310 \text{ м}^2/\text{кг}$), состояния цементного теста, гидратационных процессов, количества выделяющейся воды при его твердении ГОСТ 30744–2001. Перечисленные выше показатели представлены, соответственно, в табл. 1 и рис 2. Проведенная оценка результатов, полученных данных говорит о пригодности использования портландцемента в эксперименте и его соответствии требованиям ГОСТ 30744–2001.

Таблица 1

Характеристики затворенного цементного теста

Гидравлическое вяжущее	Водоцементное отношение, %	Время начала отвердевания, час	Конец отвердевания, час
Портландцемент для хризотилцементных изделий	25	2,5	4,5

При производстве хризотилцементных композиций на стадии технологического передела важно также понимание поведения самой суспензии при ее перемешивании и фильтровании [18], потому что на выходе получаем качество полуфабриката и готового продукта. В табл.2 и на рис. 3, 4 представлены экспериментальные данные хризотилцементных образцов, полученных методами полусухого прессования смеси и фильтрационным. Композиции состоят из хризотилцементна на немодифицированном (обозначение образцов A_1, A_2) и модифицированном хризотиле (обозначение образцов Am_1, Am_2), а хризотилцементной композиции твердеющей в растворе $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией суспензии: 0,5; 1,0 и 1,5 % от общего объема воды – Am_3, Am_4, Am_5), соответственно.

Отбор проб и сравнительный анализ хризотилцементной массы на модифицированных и немодифицированных волокнах хризотила по величине уноса цементных частиц из ванн сетчатых

цилиндров листоформовочной машины показал, что данная величина уменьшилась на $0,6036 \text{ г/л}$. Данный результат говорит о том, что за счет увеличения адсорбционной поверхности волокон хризотила в процессе его распушки с использованием добавки происходит адгезионное сцепление частиц цемента на поверхности волокон. Данный факт уменьшения уноса цементных частиц из ванн сетчатых цилиндров способствует благоприятной работе рекуперационной системы очистки технологической воды. Также за счет вышеописанного процесса увеличивается и плотность хризотилцементной композиции на 200 кг/м^3 . Поскольку увеличивается плотность материала – это означает, что уходит вода из пор слоя материала, что подтверждается результатами по оценке водопоглощения и пористости. Величина водопоглощения уменьшилась на $0,6 \%$, пористость – на $5,2 \%$. Полученные результаты способствуют увеличению срока службы готового продукта, в частности, при эксплуатации в районах с повышенной влажностью.

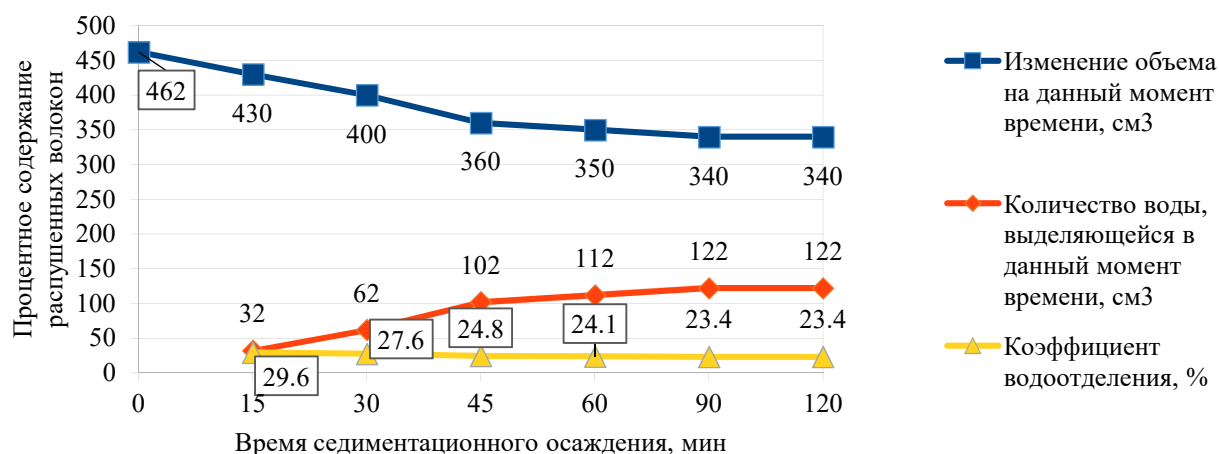


Рис. 2. Физические свойства затворенного теста

Таблица 2

Физические свойства жидкой и твердой среды хризотилцементной композиции

Технологический передел/место введения добавки	Метод/маркировка образцов
Расщепление волокон хризотила в гидропушителе	полусухое прессование
	A ₁
	Am ₁
	фильтрация
Водонасыщение хризотилцемента в увлажнителе	A ₂
	Am ₂
	Am ₃
	Am ₄
	Am ₅

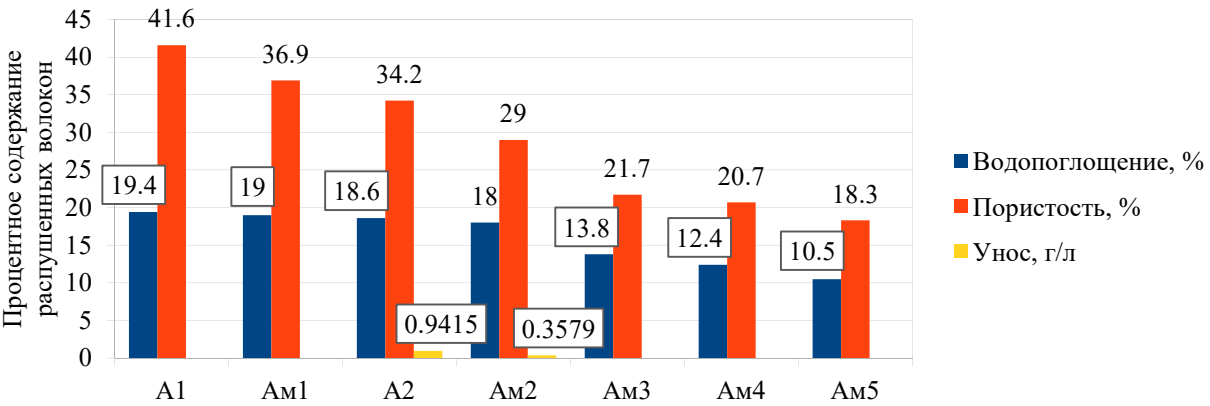


Рис. 3. Физические свойства жидкой и твердой среды хризотилцементной композиции (Часть 1)

Сформованные хризотилцементные композиции испытывали в 7-суточном возрасте и результаты их стойкости представлены на рис. 5. Однозначно, можно сказать, что введение в состав раствора $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ благоприятно сказывается при использовании двух технологий: метод полусухого прессования – рост на 5,5 МПа, – фильтрации – 1,7 МПа. Для следующих

сравниваемых технологических подходов: метод фильтрации и твердение в растворе $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ различной концентрации рост, соответственно, на 2,6, 5,3 и 6,3 МПа. Таким образом, сравнивая различные технологические подходы введения модифицирующего агента, можно сказать, о благоприятном моменте его использования – в среднем, возрос в 1,3 раза.

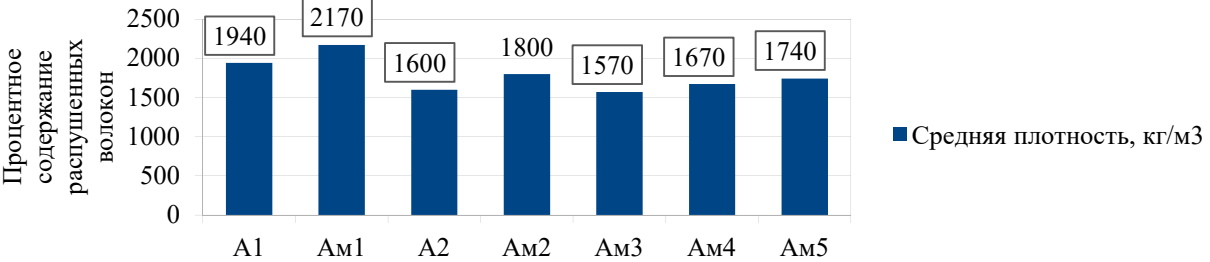


Рис. 4. Физические свойства жидкой и твердой среды хризотилцементной композиции (Часть 2)

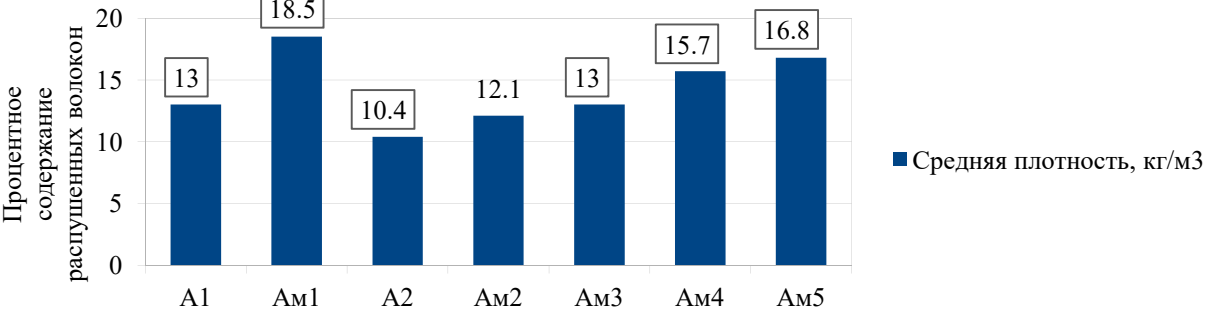


Рис. 5. Стойкость при изгибе хризотилцементной композиции

Влияние химической реакции портландцемента в растворе $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ проводили на основе идентификации различных кристаллических фаз на основе рентгеновских кривых (рис. 6).

Хризотилцементный композит без обработки волокна имел следующие кристаллические фазы (рис. 6, б): гидросиликаты кальция состава

C_2SH ($d/n=0,2321\text{нм}$), C_2SH_2 ($d/n=0,3877\text{нм}$) и $\text{SH}(\text{C})$ ($d/n=0,2448\text{нм}$). Межплоскостные расстояния непрореагировавших кристаллических фаз трехкальцевого силиката имели следующие величины: (0,1490; 0,1628; 0,1765; 0,2186; 0,2607; 0,2747; 0,2780; 0,3038 нм). Дифракционные отражения первичного продукта гидратации – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 0,1933; 0,2644; 0,4928 нм.

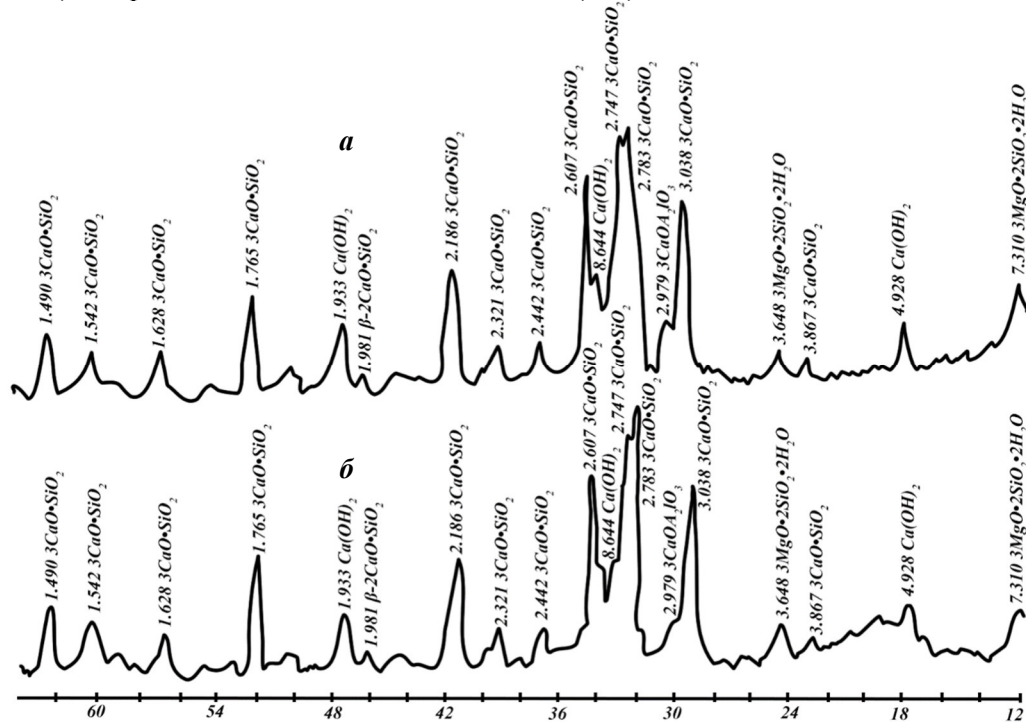


Рис. 6. Рентгеновские порошковые дифрактограммы композитов:
а – на модифицированных волокнах хризотила, б – на немодифицированных волокнах хризотила

Введение раствора натриевого жидкого стекла в хризотилцемент в целом не повлияло на фазовый состав портландцемента (рис. 6, 1). На рентгенограмме показано некоторое уменьшение интенсивности пиков непрореагировавшего C_3S и увеличение пиков портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Данный факт говорит о том, что введение раствора $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ способствует увеличению кристаллизации фаз портландцемента, за счет гидратации новых порций алита.

Исследования химических и физико-химических процессов, происходящих в веществах, в условиях изменения температурного режима, проводили на хризотилцементных композитах с модифицированным и немодифицированным волокном в их составе (рис. 7, 8). На представленных кривых отображены дифференциальная и интегральная кривые потери массы, а также дифференциальная кривая нагрева, на которой наблюдаются несколько эндотермических эффектов.

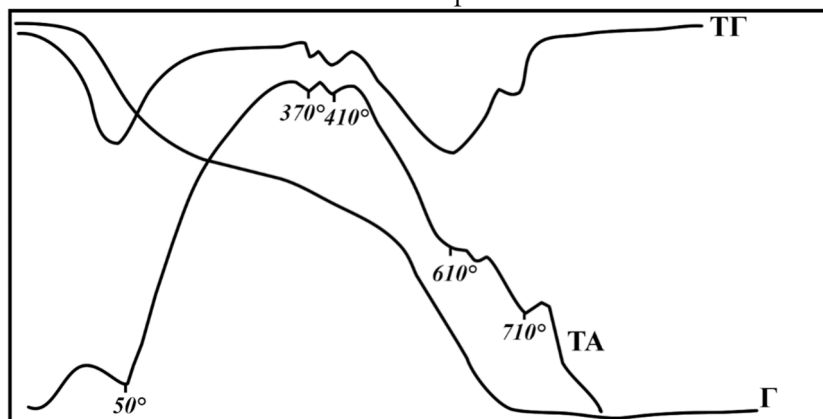


Рис. 7. Термогравиметрические кривые хризотилцементного композита на немодифицированном волокне

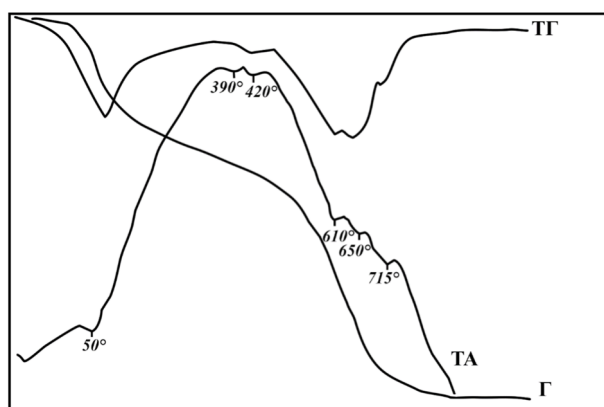


Рис. 8. Термогравиметрические кривые хризотилцементного композита, обработанного раствором $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$

Анализ термогравиметрических кривых композитов на немодифицированном волокне и твердеющих в растворе $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ показывает наличие нескольких эндотермических эффектов. При 50°C удаляется адсорбционная вода, разложение двухкальцевого гидросиликата состава $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$ протекает в промежутке температур $370\text{--}420^\circ\text{C}$. Температура 610°C соответствует дегидратация портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Процессы разложения гидросиликатов состава $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$, C_2SH_2 – 650°C . Разложение тоберморита и двухкальцевого гидросиликата состава $\text{C}_2\text{SH}(\text{C})$ протекает в промежутке температур $710\text{--}715^\circ\text{C}$. Потери массы в представленных выше образцах в температурном режиме эндотермических эффектов отличаются практически незначительно, в пределах 7,6 и 7,8 %, соответственно. Таким образом, у модифицированного хризотилцемента не происходит потери массы и не изменяется фазовый состав портландцемента.

Для изучения остаточных прочностных показателей [ГОСТ 18124–2012] после воздействия физико-химических факторов использовали хризотилцементный композит, полученный наиболее распространенным методом – фильтрации хризотилцементной суспензии в ваннах сетчатых цилиндров. Образцы, полученные по данной технологии, подвергали жесткой тепловой нагрузке, выдерживанию в течение 25 циклов режима замораживания-оттаивания, влиянию физико-химического фактора естественных условий нахождения в течение 28 суток (табл.3).

Тепловую нагрузку высоких температур проводили, подвергая образцы выдержке при 600°C в муфельной печи в течение 15 мин. Расчет потери стойкости при изгибе рассчитывали на основании среднеарифметических экспериментальных значений по отношению – контрольным. На морозостойкость образцы испытывали в морозильной камере.

Таблица 3

Остаточная стойкость при изгибе хризотилцементного композита

Наименование экспериментальных образцов	Остаточная стойкость композита после режима, МПа		
	нагрева	замораживания-оттаивание	естественных условий
Хризотилцементный композит на немодифицированных волокнах	9,4	9,6	13,8
Хризотилцементный композит на модифицированных волокнах	11,2	11,4	16,1

Анализируя вышеприведенные табличные данные можно сказать о том, что потери прочности при изгибе для хризотилцементных композиций, изготовленных на немодифицированном и модифицированном хризотиле, по сравнению с контрольными, не превысили 10%, что соответствует требованиям. Хризотилцементные композиции, находящиеся в течение 28 суток твердения в естественных погодных условиях и затем испытанные на стойкость, имели некоторое увеличение значения этого показателя. Для хризотилцементных композиций, соответственно – в 1,1 и 0,9 раз. Полученный результат объясняется

тем, что физико-химические характеристики воздуха природного фактора оказывают влияние на процессы гидратации портландцемента, и скорее всего – количество гидратирующихся гидросиликатов кальция.

Выводы.

1. Показано, что введение раствора $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ в режиме турбулентного потока расщепления хризотилового волокна способствует повышению распушки на 22 %.

2. Установлено, что при использовании технологии формирования хризотилцементного наката методом фильтрации и введении добавки $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ в ванны сетчатых цилиндров,

и при твердении в увлажнителе происходит улучшение его качественных показателей: увеличение плотности, в среднем, в 1,5 раз; уменьшение водопоглощения – в 0,6 раз и пористости в 0,8 раз.

3. Показано, что значения предела прочности при изгибе хризотилцементных композиций на модифицированном волокне и – твердеющих в растворе $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, увеличиваются, в среднем, в 1,3 раза.

4. Установлено, что потери прочности при изгибе хризотилцементных композитов и подвергшихся воздействию режимов жесткого фактора, не превысили 10%, по сравнению с контрольными, что соответствует требованиям.

5. Показано увеличение значения стойкости хризотилцементного композита на не- и модифицированном хризотиле после их нахождения под влиянием физико-химического фактора природных условий в 1,1 и 0,9 раз, соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Semenov V., Pligina A., Rozovskaya T. The use of the chrysotile cement waste as the secondary aggregate for the concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2014. Vol. 71(1). Pp. 41–47. DOI: 10.1088/1757-899X/71/1/012041.
2. Bolan S., Kempton L., McCarthy T., Wijesekara H., Piyathilake U., Jasemizad T., Padhye L.P., Zhang T., Rinklebe J., Wang H., Kirkham M.B., Siddique K.H.M., Bolan N. Sustainable management of hazardous asbestos-containing materials: Containment, stabilization and inertization // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 10. Pp. 456–459. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163456.
3. Iwaszko J. Making asbestos-cement products safe using heat treatment // Case Studies in Construction Materials. 2019. Vol. 10. e00221. DOI: 10.1016/j.cscm.2019.e00221
4. Paolini V., Tomassetti L., Segreto M. Asbestos treatment technologies // Journal of Material Cycles and Waste Management. 2019. Vol. 21(2). Pp. 205–226. DOI: 10.1007/s10163-018-0793-7
5. Bales R. C., Morgan, James J. Surface charge and adsorption properties of chrysotile asbestos in natural waters // Journal Environmental Science and Technology. 1985. Vol. 19(12). Pp. 1213–1219. DOI: 10.1021/es00142a013.
6. Holmes E.P. The effects of naturally occurring acids on the surface properties of chrysotile asbestos // Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2014. Vol. 49. Iss. 12. Pp. 1445–1452. DOI: 10.1080/10934529.2014.928558.
7. Feric T., Krstulovic R., Peric J., Krolo P. Effect of chrysotile asbestos on cement hydration // Cement and Concrete Composites. 1997. Vol. 19. Iss. 4. Pp. 301–305. DOI: 10.1016/S0958-9465(97)00022-X.
8. Yazdanbakhsh A., Grasley Z., Tyson B., Abu Al-Rub Rashid K. Dispersion quantification of inclusions in composites // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2011. Vol. 42. Iss. 1. Pp. 75–83. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.10.005
9. Borges R., do Amaral L.F.M., Ribeiro V.P.A. de Oliveira-Paiva. Mechanochemical Route to Magnesium/Calcium Citrate Formation for Chrysotile/Asbestos Cement Correct Disposal as Agricultural Input // Waste and Biomass Valorization. 2022. Vol. 14(7). Pp. 1–11. DOI: 10.1007/s12649-022-01994-5
10. Ключев С.В. Применение композиционных вяжущих для производства фибробетонов // Технологии бетонов. 2012. № 1-2 (66–67). С. 56–57.
11. Lombardi P., Wanda F., Günther M.R., Viana E. Asbestos cement materials: impacts on the use and waste generation in Brazil // Journal Revista Brasileira de Ciências Ambientais. 2022. Vol. 57(4). Pp. 618–629. DOI: 10.5327/Z2176-94781392.
12. Кринари Г.А., Сабирова Н.Ю., Халитов З.Я. Моделирование дифракционных профилей от систем цилиндрических кристаллов (на примере хризотил-асбеста) // Физика минералов и их синтетических аналогов. 1988. Казань: Изд. Казанского университета. С. 123–133.
13. Sabat M., Fares N., Mitri G., Kfoury A. Determination of asbestos cement rooftop surface composition using regression analysis and hyper-spectral reflectance data in the visible and near-infrared ranges // Journal Hazard Mater. 2024. Vol. 469 (1). 134006. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134006
14. Ключев С.В. Основы конструктивной организации природных и искусственных материалов // В сборнике: Современные технологии в промышленности строительных материалов стройиндустрии. Сборник студенческих докладов, посвященный 150-летию со дня рождения академика В.Г. Шухова в 3-х частях. 2003. С. 161–163.
15. Ключев С.В. Ползучесть и деформативность дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 85–87.
16. Carneiro G.O., Santana H.A., Ribeiro D.V., Cilla M.S., Dias C.M.R. One-part alkali-activated binder produced from inertized asbestos cement waste // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 367. 132966. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132966.
17. Ervie T., Hammer S.E. Mobilization of asbestos fibers by weathering of a corrugated asbestos cement // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2020. Vol. 18. Pp. 110–117. DOI: 10.1080/15459624.2020.1867730.

18. Motta O., Pironi C., Venier M., Proto A. An Innovative Filtering System for the Handling of Asbestos-Based Products // Improvement of Safety and Quality of Work in Analysis Laboratories. 2022. Vol. 10(6). Pp.281. DOI: 10.3390/toxics10060281.

19. Deegoda D.G.I.S., Budlike H.A.D.S., Yapa H.D. Influence of Chrysotile Fibers on Drying

Shrinkage of Cement Paste // Conference: Proceedings of Peradeniya University International Research Sessions. 20th & 21st September 2023. Vol. 24. 130.

20. Naumova L.N. Modification of the surface of chrysotile fibres at the expense of crushing // 2nd International Scientific Conference “European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches”. Stuttgart. Germany. 18–19 February 2013. Vol. 3. P. 71.

Информация об авторах

Наумова Людмила Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. Email: naymova_ln@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 28.08.2025 г.

© Наумова Л.Н., 2025

Naumova L N.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Email: naymova_ln@mail.ru.

IMPROVING THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A CEMENT COMPOSITE MATERIAL BASED ON MODIFIED CHRYSOTILE FIBER

Abstract. The article discusses the possibilities of improving the physical and mechanical parameters of producing chrysotile cement composites at the stage of preparing the raw material component, using different methods of film formation and curing the semi-finished product. The proposed approach will increase the competitiveness of manufactured products, help save raw materials, and improve the quality of the finished product. A cement composite material based on split chrysotile fibers was obtained by treating them with a $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ solution in the turbulent environment of a hydraulic extinguishing agent. An increase in the adsorption surface of split chrysotile fibers was shown based on a method for determining the quality of fiber fluff. A comparative analysis of the obtained physical, physicomachanical characteristics of semi-finished and finished products using the proposed additive at different stages of technological processing and production method was carried out. It has been shown that the modifying factor has a positive influence on the stage of filtration processes of semi-finished product formation, hardening in its solution and an increase in strength characteristics. It has been established that the tensile strength in bending of chrysotile cement compositions on modified fibers and hardening in a solution of sodium liquid glass increases.

Keywords: cement composite material, chrysotile fibers, sodium liquid glass, particle entrainment, density, water absorption, porosity, flexural strength.

REFERENCES

1. Semenov V., Pligina A., Rozovskaya T. The use of the chrysotile cement waste as the secondary aggregate for the concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2014. Vol. 71(1). Pp. 41–47. DOI: 10.1088/1757-899X/71/1/012041.

2. Bolan S., Kempton L., McCarthy T., Wijesekara H., Piyathilake U., Jasemizad T., Padhye L.P., Zhang T., Rinklebe J., Wang H., Kirkham M.B., Siddique K.H.M., Bolan N. Sustainable management of hazardous asbestos-containing materials: Containment, stabilization and inertization. Science of The Total Environment. 2023. Vol. 10. Pp. 456–459. DOI:10.1016/j.scitotenv.2023.163456.

3. Iwaszko J. Making asbestos-cement products safe using heat treatment. Case Studies in Construction Materials. 2019. Vol. 10. e00221. DOI:10.1016/j.cscm.2019.e00221

4. Paolini V., Tomassetti L., Segreto M. Asbestos treatment technologies. Journal of Material Cycles and Waste Management. 2019. Vol. 21(2). Pp. 205–226. DOI: 10.1007/s10163-018-0793-7

5. Bales R. C., Morgan, James J. Surface charge and adsorption properties of chrysotile asbestos in natural waters. Journal Environmental Science and Technology. 1985. Vol. 19(12). Pp. 1213–1219. DOI: 10.1021/es00142a013.

6. Holmes E.P. The effects of naturally occurring acids on the surface properties of chrysotile asbestos. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2014. Vol. 49. Iss. 12. Pp. 1445–1452. DOI: 10.1080/10934529.2014.928558.

7. Feric T., Krstulovic R., Peric J., Krolo P. Effect of chrysotile asbestos on cement hydration. *Cement and Concrete Composites*. 1997. Vol. 19. Iss. 4. Pp. 301–305. DOI: 10.1016/S0958-9465(97)00022-X.
8. Yazdanbakhsh A., Grasley Z., Tyson B., Abu Al-Rub Rashid K. Dispersion quantification of inclusions in composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2011. Vol. 42. Iss.1. Pp. 75–83. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.10.005
9. Borges R., do Amaral L.F.M., Ribeiro V.P.A. de Oliveira-Paiva. Mechanochemical Route to Magnesium/Calcium Citrate Formation for Chrysotile/Asbestos Cement Correct Disposal as Agricultural Input. *Waste and Biomass Valorization*. 2022. Vol. 14(7). Pp. 1–11. DOI:10.1007/s12649-022-01994-5
10. Klyuev S.V. Application of composite binders for the production of fiber-reinforced concrete. [Primenenie kompozicionnyh vyazhushchih dlya proizvodstva fibrobetonov]. *Concrete Technologies*. 2012. No. 1-2 (66-67). Pp. 56–57. (rus)
11. Lombardi P., Wanda F., Günther M.R., Viana E. Asbestos cement materials: impacts on the use and waste generation in Brazil. *Journal Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. 2022. Vol. 57(4). Pp. 618–629. DOI: 10.5327/Z2176-94781392.
12. Krinari G.A., Sabirova N.Yu., Khalitov Z.Ya. Modeling of diffraction profiles from systems of cylindrical crystals (using the example of chrysotile asbestos). [Modelirovanie difrakcionnyh profilej ot sistem cilindricheskih kristallov (na primere hrizotil-asbesta)]. *Physics of minerals and their synthetic analogues*. 1988. - Kazan: Publishing house. Kazan University. Pp. 123–133. (rus)
13. Sabat M., Fares N., Mitri G., Kfoury A. Determination of asbestos cement rooftop surface composition using regression analysis and hyper-spectral reflectance data in the visible and near-infrared ranges. *Journal Hazard Mater*. 2024. Vol. 469 (1). 134006. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134006
14. Klyuev S.V. Fundamentals of the constructive organization of natural and artificial materials. [Osnovy konstruktivnoj organizacii prirodnyh i iskusstvennyh materialov]. In the collection: *Modern technologies in the construction materials industry of the construction industry. A collection of student reports dedicated to the 150th anniversary of the birth of academician V.G. Shukhov in 3 parts*. 2003. Pp. 161–163. (rus)
15. Klyuev S.V. Creep and deformability of dispersed reinforced fine-grained concrete. [Polzuchest' i deformativnost' dispersno-armirovannyh melkozernistyh betonov]. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova*. 2010. No. 4. Pp. 85–87. (rus)
16. Carneiro G.O., Santana H.A., Ribeiro D.V., Cilla M.S., Dias C.M.R. One-part alkali-activated binder produced from inertized asbestos cement waste. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 367. 132966. DOI:10.1016/j.jclepro.2022.132966.
17. Ervie T., Hammer S.E. Mobilization of asbestos fibers by weathering of a corrugated asbestos cement. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2020. Vol. 18. Pp. 110–117. DOI: 10.1080/15459624.2020.1867730.
18. Motta O., Pironti C., Venier M., Proto A. An Innovative Filtering System for the Handling of Asbestos-Based Products. *Improvement of Safety and Quality of Work in Analysis Laboratories*. 2022. Vol. 10(6). Pp.281. DOI: 10.3390/toxics10060281.
19. Deegoda D.G.I.S., Budlike H.A.D.S., Yapa H.D. Influence of Chrysotile Fibers on Drying Shrinkage of Cement Paste. *Conference: Proceedings of Peradeniya University International Research Sessions*. 20th & 21st September 2023. Vol. 24. 130.
20. Naumova L.N. Modification of the surface of chrysotile fibres at the expense of crushing // 2nd International Scientific Conference “European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches”. Stuttgart. Germany. 18–19 February 2013. Vol. 3. P. 71.

Information about the authors

Naumova, Lyudmila N. PhD. Email: naymova_ln@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova,46.

Received 28.08.2024

Для цитирования:

Наумова Л.Н. Повышение физико-механических характеристик цементного композиционного материала на основе модифицированного волокна хризотила // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 8. С. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-8-8-17

For citation:

Naumova L.N. Improving the physical and mechanical characteristics of a cement composite material based on modified chrysotile fiber. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2025. No. 8. Pp. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-8-8-17