

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГИПСА

В последнее время все большее распространение в строительстве получают композиционные материалы на основе волокон и связующего. Это асбестоцементы, стеклопластики, различные стеклоцементные и гипсоволокнистые материалы, сочетающие в себе наряду с повышенными физико-механическими показателями такие свойства, как декоративность, огнестойкость, повышенная звуко- и теплоизоляционная способности.

Путем правильного подбора различных видов волокон, их концентрации, размеров, формы, а также осуществляя необходимую ориентацию и прочную связь гипсового вяжущего с волокном, можно в самых широких пределах регулировать физико-механические и другие свойства композиционного материала. Широкое применение этих материалов на основе волокон и гипса позволит осуществить частичную или полную замену ими дефицитных и дорогостоящих природных материалов. Обладая комплексом уникальных свойств, гипсоволокнистый материал может найти применение в различных областях народного хозяйства.

Цель данного исследования состоит в анализе существующих способов получения и свойств различных видов волокон и композиционных гипсоволокнистых материалов, а также в выборе новой технологии производства гипсоволокнистых плит, основанной на эффекте прессования с удалением избыточной влаги. Для армирования композиционных материалов применяют следующие виды волокон: растительного происхождения – древесноволокнистая масса, хлопок, целлюлозные волокна; животного происхождения – шерсть, шелк; минеральные волокна – асбест, стеклянные, базальтовое волокно, волокнистый сульфат кальция; полимерные волокна – полиэфирное, нейлоновое, акриловое, полипропиленовое и т. п.

При создании композиционных материалов на основе гипсовых вяжущих в качестве арматуры чаще всего используют целлюлозные, стеклянные и некоторые виды полимерных волокон.

Наиболее доступны и дешевы целлюлозные волокна. Получают их из бумажной макулатуры (наиболее желательны прочные сорта типа крафт-бумаги). Используются также волокнистые отходы бумажной промышленности (рафинерная и прудовая массы).

Подготовка волокна заключается в размоле волокнистых веществ, их расщеплении на отдельные тонкие волокна, сплетение которых впоследствии создает в формовочной массе армирую-

щую решетку или каркас, сообщающий гипсовым изделиям повышенную механическую прочность. Обработка осуществляется сухим и мокрым размолотом в помольных агрегатах различного типа. Для сухого размолота используют молотковые дробилки, для мокрого наибольшее распространение получили роллы и гидропуллеры.

Наилучшим условием для получения тонкого волокна и более равномерного распределения его в формовочной массе является расщепление волокнистых веществ в водной среде при содержании этих веществ в воде 5–6% (по массе) по отношению к количеству воды. При более высоких концентрациях наблюдается комкование массы, ухудшение работы смесительных приспособлений и неоднородность состава в различных частях изделий. Даже после введения гипса в волокнистую пульпу концентрация сухих веществ в воде не должна превышать 10–20% [1].

Многие исследователи проявляют большой интерес к использованию стекловолокна в качестве арматуры для строительных изделий и конструкций. Общеизвестны и широко применяются материалы на основе гипса, армированного стекловолокном. Достаточно хорошо изучены свойства этих материалов [2].

К преимуществам стекловолокон можно отнести их высокую механическую прочность на разрыв, недефицитность и низкую стоимость сырья для их получения, а также возможность получения стекловолокна в виде нитей любой длины, жгутов, сеток, тканей и т. д. Комбинируя коротковолокнистую и длиноволокнистую арматуру, композиционным материалам можно придавать различные свойства.

Для армирования гипсовых изделий рекомендуется использовать бесщелочное стекловолокно вследствие большей адгезии к гипсу [2]. По рекомендациям, содержащимся в литературе, оптимальное количество армирующих волокон колеблется от 1 до 30%. Большинство исследователей указывают, что лучшие результаты получены при введении 5–9% волокон. Рекомендуемая длина в большинстве случаев составляет 12–15 мм.

Весьма существенным недостатком строительных изделий, армированных стекловолокном, является уменьшение их прочности в процессе эксплуатации. Это вызывается старением армирующих волокон. Понижение прочности стекловолокна в гипсовых композиционных материалах происходит из-за проникновения влаги в микротрещины, находящиеся на поверхности волокон. В цементных композициях имеет место также щелочная коррозия. Установлено, что более тонкие волокна лучше сохраняют свою прочность вследствие меньшей скорости проникновения влаги в мелкие трещины. Применение более тонких волокон

эффективно также с точки зрения получения композиций большей прочности.

В последнее время ведутся многочисленные исследования по проблеме возможности получения совершенно нового вида неорганических волокон – волокнистого сульфата кальция. Этот вид выгодно отличается от многих применяемых в настоящее время волокон повышенной щелочестойкостью, атмосферостойкостью и долговечностью. Он представляет собой потенциально самую дешевую разновидность неорганических волокон. Размеры и форма получаемых волокон гипса колеблются в довольно широких пределах: длина – от десятков микрометров до нескольких миллиметров, толщина – от долей микрометров до десятков микрометров. Их довольно эффективно можно регулировать введением в рабочую суспензию различных примесей. Новый вид волокон предполагается использовать для армирования пластмасс, стекла, керамики, а также в бумажной промышленности.

Использование волокнистого сульфата кальция для армирования строительных материалов на основе гипсовых вяжущих открывает большие возможности для создания новых композиционных материалов с уникальными свойствами.

Различные способы получения гипсовых волокон запатентованы в США, Японии, СССР и ФРГ. Согласно патенту США [3], суспензию двуводного гипса обрабатывают в автоклаве при температуре 110–140 °С до образования мелких игольчатых кристаллов полуводного гипса. После их отделения от жидкой фазы и высушивания получают волокнистый полугидрат сульфата кальция. В случае необходимости получения волокнистого нерастворимого ангидрида волокна полугидрата обжигают при температуре 400–600 °С.

В Японии разработаны способы производства волокнистого сульфата кальция из отходящих дымовых газов при очистке их от серы. Для получения более длинных волокон сульфата кальция и упрощения процесса предложено осуществлять его в растворах соляной, азотной или серной кислоты при температуре 60–109 °С при атмосферном давлении. Введение фосфогипса приводит к образованию волокон полуводного сульфата кальция длиной до 2 см [4].

В ФРГ путем термообработки исходного неволокнистого двуводного гипса в растворах солей и кислот получают в виде волокон и двуводный гипс [5].

Для получения композиционных материалов с высокими физико-механическими свойствами необходимо, чтобы армирующие волокна были равномерно распределены по всему объему материала. Установлено, что прочность материалов, армированных

волокном, растет до определенного насыщения неорганической матрицы материала волокнами. Затем отмечается спад прочности, обусловленный неравномерностью распределения волокон в массе формовочной смеси, и как следствие ухудшение реологических свойств последней. При введении волокнистой арматуры традиционными способами наблюдаются характерные сцепления отрезков арматуры в виде комков и клубков. Это имеет место при использовании практически всех видов волокон.

Предельное содержание свободно ориентированной арматуры, которую удастся ввести традиционными способами, колеблется в пределах 3–15%. Введение уже 5–8% арматуры вызывает значительные трудности.

Возможности равномерного распределения волокон в формовочной массе в значительной степени зависят от отношения длины и диаметра волокон, от их объемного содержания, размера частиц, способов перемешивания, а также способов обработки исходных волокон.

Экспериментально установлено, что оптимальным является отношение длины к диаметру волокон $l/d = 100-150$. При недостаточной длине волокон материал разрушается не вследствие разрыва волокон, а из-за его выдергивания из матрицы [6].

В Англии предложен способ обработки стеклянных волокон, обеспечивающий более равномерное распределение волокон в матрице, лучшее их сцепление с матрицей и большую стойкость против коррозии [7]. Достигается это посредством предварительной тепловой обработки волокон при $t = 600-900^\circ\text{C}$, с тем чтобы вызвать частичную или полную кристаллизацию, или расстеклование волокон.

Предложен также способ автоклавной обработки стекловолокон в среде насыщенного пара при $t = 150-200^\circ\text{C}$. После тепловой обработки фибры имеют пониженную хрупкость, менее подвержены разрушению и комкованию при смешении с жидкими материалами [8]. Обработка позволяет довести содержание волокон в композиционном материале до 50% от веса связующего.

На выбор способа смешения волокнистого компонента смеси и вяжущего влияют вид, свойства и степень обработанности волокон. От этого в значительной степени зависит последовательность приготовления формовочной гипсоволокнистой массы. Приготовление формовочной гипсоволокнистой массы можно осуществлять одним из трех способов: 1) приготавливают шлам вяжущего с необходимыми добавками, а затем при постоянном интенсивном перемешивании постоянно вводят волокна арматуры; 2) получают пульпу, содержащую волокнистую арматуру, а затем, поддерживая волокна во взвешенном состоянии, вводят от-

дозированный гипс; 3) в сухом виде смешивают армирующие волокна и гипс, а затем полученную смесь затворяют водой.

Обязательное условие для равномерного распределения волокон – получение формовочной смеси с высоким водосодержанием.

Из всех способов формования строительных деталей из волокнистых масс, с точки зрения возможности равномерного распределения волокон в матрице материала, наибольший интерес представляет так называемый способ набрызга, широко применяемый в производстве стеклоцементных изделий. С некоторыми изменениями его можно использовать при изготовлении гипсоволокнистых плит.

Сущность способа заключается в том, что раствор вяжущего в виде шлама через сопло под давлением подается на форму. В зону распыления одновременно с подачей шлама сжатым воздухом на большой скорости вводится волокно. Волокно смешивается со шламом, после чего смесь подвергается формованию и дальнейшей обработке.

В Японии предложен способ изготовления изделий, армированных волокном, отличающийся тем, что с целью сокращения расхода материалов и более равномерного распределения волокон и шлама распыляемые раздельно потоки волокна и шлама направляются на плоский экран, который устанавливается над формой под углом. Ударяясь об экран, потоки перемешиваются и стекают по нему в форму [9].

Приоритет создания технологии производства гипсоволокнистых изделий принадлежит Советскому Союзу. Ее разработкой занимались в 50-е гг. институт "Гипрогипс" совместно с ЦНИИ бумажной промышленности. Промышленный выпуск гипсоволокнистых изделий был налажен в Москве и Ленинграде.

Основные принципы, заложенные в основу производства гипсоволокнистых плит с целлюлозными волокнами, сохраняются и в современных технологических схемах. Они заключаются в подготовке (измельчении и превращении в тонкое волокно) бумажной макулатуры, тщательном смешении волокна с гипсом для получения формовочной смеси, формовании, сушке и окончательной отделке (обрезке, калибровке) изделий [1]. Для формования изделий применяется специальный вакуум-формовочный агрегат. После вакуумирования гипсоволокнистая масса имеет вид рыхлой плиты толщиной, намного превышающей заданную для готовой плиты. Калибровка плиты по толщине производится на гидравлическом прессе. В процессе формования при обезвоживании волокнистой массы происходит тесное взаимное сближение частиц гипса и их проникновение в промежутки между волокнами. Продолжительность сушки плит составляет 22–24 ч.

В настоящее время рядом фирм ФРГ налажено производство гипсоволокнистых плит, армированных целлюлозным волокном.

С 1971 г. предприятия фирм "Фельз-Зимпелькамп" изготавливают гипсоволокнистые плиты сухим способом по конвейерной технологии. В процессе производства макулатура, проходя ряд стадий технологической переработки, распушивается, в сухом виде смешивается с гипсом и подается на ленту формовочной машины, где увлажняется и подается в формовочный пресс. После формования и твердения гипсоволокнистая лента разрезается на плиты нужных размеров, которые далее сушатся и обрабатываются. В качестве ускорителя твердения используется двуводный гипс.

Практикуется также мокрый способ производства гипсоволокнистых плит методом "Кнауф". Распушенная в гидропульпуре макулатура смешивается с гипсом и замедлителем схватывания, затем полученная гипсоволокнистая смесь поступает в камеру плоскосточной машины. Производство плит осуществляют аналогично производству асбестоцементных листов.

Группа фирм "Штрайф-Ригипс" производит гипсоволокнистые плиты методом "моноштранг" - путем одноразового нанесения смеси целлюлозных волокон и гипса мокрым способом. Обезвоживание, уплотнение и калибровка гипсоволокнистой ленты происходит под действием вакуума, создаваемого в отсасывающих ящиках, и двухленточного пресса непрерывного действия. После окончания схватывания плиты подаются в сушилку. Высушенные плиты подвергают дополнительной калибровке, шлифовке и пропитке.

В ГДР однослойные полосовые панели "Струна" из поризованного гипса с добавкой рубленого стекловолокна выпускают по литейной технологии. Налажен также выпуск полосовых плит "Крольвадур" с наружными слоями из гипса, армированного стекловолокном, между которыми уложен бумажный сотопласт.

При производстве гипсокартонных плит для повышения их огнестойкости сердечник плиты армируют стекловолокном.

Гипсоволокнистые плиты, армированные целлюлозным волокном, обладают комплексом свойств, позволяющим отнести их к эффективным отделочным материалам. При их изготовлении не нужен дорогостоящий специальный картон, который заменен макулатурой. Плиты имеют равномерную эластичную структуру, повышенные физико-механические показатели ($R_{изг} = 7 \text{ МПа}$).

Гипсоволокнистые плиты можно красить, оклеивать обоями, фанеровать и использовать для обшивки стен и изготовления мебели. Плиты гвоздятся, хорошо удерживают шурупы, легко об-

рабатываются (режутся, шпунтуются, шлифуются) и ремонт руются, характеризуются повышенной звуко- и теплоизоляционной способностью. В помещении, отделанном гипсоволокнистыми плитами, благодаря пористой структуре материала, создается благоприятная жилая атмосфера.

Плиты из гипса и волокон имеют высокую огнестойкость. Распространение огня гипсоволокнистые плиты задерживают благодаря значительному поглощению тепла, идущего на обезвоживание гипса. В случае особых требований к огнестойкости плит целлюлозные волокна частично или полностью заменяются стеклянным или асбестовым волокном.

Предлагаемая технология позволит также исключить сушку, значительно ускорить технологический процесс.

Армирование гипса стекловолокном позволяет повысить его прочность при растяжении и изгибе на 50 - 250%. Ударная прочность, сопротивление истиранию, стойкость против замораживания и оттаивания, по разным литературным данным, могут возрасти до 200 - 300%. В 5 раз повышается ударная прочность гипсового камня при введении в него полипропиленовых волокон.

Гипсоволокнистые плиты применяют в основном для внутренней отделки помещений многоэтажных зданий, при реконструкции старых домов, для изготовления сантехкабин.

Гипсоволокнистые плиты - материал весьма перспективный. К достоинствам нового материала нужно также отнести возможность довольно эффективно регулировать свойства получаемых изделий за счет ориентирования волокон в нужном направлении в процессе формования изделий. Однако практически ни одна из существующих технологий не позволяет использовать эту возможность. В связи с этим для изготовления гипсоволокнистых изделий предлагается использовать технологию, основанную на эффекте прессования с удалением влаги [10], разработанную в Белорусском политехническом институте. Использование этой технологии позволит осуществлять управление процессом структурообразования и создавать новые материалы с различным спектром требуемых свойств.

Предлагаемая технология позволит также исключить сушку значительно ускорить технологический процесс.

Было исследовано влияние стекловолокна на прочность прессованного гипса. Стекловолокно получали из стекложгута, который разрезали на отрезки необходимой длины и обжигали в печи при $t = 300^{\circ}\text{C}$ в течение 4 - 5 ч. Термообработка отрезков стекложгута способствует лучшему его расщеплению на отдельные волокна и позволяет более равномерно распределить волокна при перемешивании с гипсом. В опытах использовалось стек-

Таблица 1

Зависимость прочности образцов-балочек 4 x 4 x 16 см
в возрасте 1,5 ч от содержания стекловолокна

Содержание стекловолокна, %	$R_{изг}$, МПа	$R_{изг.отн}$, %	$R_{сж}$, МПа	Примечания
0	7,5	100	22,8	Удельное
0,125	7,9	105	23,0	прессующее
0,25	8,6	114	23,7	давление
0,5	9,8	129	24,4	$R_{уд} =$
0,75	8,7	114	23,0	$= 10,0$ МПа
1,0	8,7	110	22,3	

Таблица 2

Рост прочности прессованных гипсовых
образцов-балочек 4 x 4 x 16 см во времени

№ п/п	Возраст образцов	Образцы со стеклово- локном в количестве 0,5% от массы гипса		Контрольные образцы		Примечание
		$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	
1	1,5 ч	6,9	16,4	4,5	16,8	$R_{уд} = 5,0$ МПа
2	6 ч	7,3	18,5	4,9	18,4	"-
3	1 сут	7,8	19,9	5,2	19,2	"-
4	3 сут	10,5	24,0	7,2	23,5	"-
5	7 сут	14,7	36,5	10,9	37,0	"-
6	14 сут	17,0	38,7	13,5	39,1	"-

стекловолокно алюмоборосерникозидного состава длиной 12-16 мм. Взвешенный гипс и стекловолокно в сухом состоянии вручную перемешивались, а затем полученную массу добавляли к необходимому количеству воды. Установлено, что смесь гипса со стекловолокном необходимо готовить с количеством воды, равным нормальной густоте гипса. При введении большего количества воды стекловолокно плохо перемешивается с гипсом, сплетается в один комок, пряди стекложгута не расходятся на отдельные мелкие волокна, как это наблюдается при перемешивании их с гипсом при $V/G = K_{н.г}$.

Работы по определению оптимального количества стекловолокна (табл. 1) показали, что прочность гипсовых образцов на изгиб растет при увеличении количества вводимого стекловолокна до 0,5% от массы гипса. Затем наблюдается спад прочности, объясняемый сложностью равномерного распределения стекловолокна в массе гипсоволокнистой смеси традиционными методами. Применение специальных смесителей типа ССВ (спирально-

вихревых), в которых роль смешивающего органа выполняет не лопасть, а сам корпус смесителя, позволит увеличить количество эффективно вводимого стекловолокна, а следовательно, и прочность гипса на изгиб.

Проведенные исследования (табл. 2) показали, что стекловолокно увеличивает прочность прессованных стеклогипсовых образцов на изгиб на 30–35%, причем прочность на сжатие во все сроки твердения в сравнении с контрольными образцами без стекловолокна практически не изменяется. Увеличение прочности стеклогипсовых образцов на изгиб объясняется армирующим действием стекловолокна, воспринимающим часть растягивающих напряжений.

Л и т е р а т у р а

1. Нагибин Г.В. Технология теплоизоляционных и гипсовых материалов. – М.: Стройиздат, 1973, с. 18–19.
2. Гордшевский П.Ф. Армирование гипсовых и гипсоцементно-пуццолановых изделий стекловолокном. – Строит. материалы, 1977, № 3, с. 24–25.
3. Пат. 3822340 (США). Волокнистый сульфат кальция, кл. 423/555.
4. А. с. 688437 (СССР). Способ получения волокнистого сульфата кальция / Л.М.Томашюнас, П.В.Кичас, А.Ю.Ласис, В.А.Моркуненс. – Оpubл. в Б. И., 1979, № 36.
5. Заявка 2621611 (ФРГ). Неорганические волокна. – РЖ Химия, 1978, 16 М218П.
6. Пашенко А.А. Физико-химические основы композиции неорганическое вяжущее – стекловолокно. – Киев: Вища школа, 1979, с. 202.
7. Пат.35626/73 (Англия). Способ изготовления дисперсно-армированных изделий. – Оpubл. 10.08.77, кл. С3№ (С 04 В 31/04).
8. Пат. 17522/76 (Англия). Способ обработки стеклянных волокон. – Оpubл. 11.10.78, кл. С 1 М (С 03 В 37/00).
9. Заявка 51-70193 (Япония). Способ изготовления изделий, армированных волокном. – РЖ Химия, 1978, 20М388П.
10. Способ получения высокопрочных облицовочных плит из гипса / В.Г.Каменский, И.М.Ляшкевич, Г.С.Раптунович и др. – Строит. материалы, 1979, № 6, с. 20.