

Введение в России новых нормативных показателей по теплозащите зданий привело к тому, что возросла потребность в производстве строительных материалов, имеющих высокие теплотехнические показатели, наиболее перспективными из которых являются ячеистые бетоны (автоклавный газобетон и неавтоклавный пенобетон)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХРИЗОТИЛОВОГО ВОЛОКНА В ПЕНОБЕТОНАХ

В последние годы неавтоклавный пенобетон приобретает большую популярность в строительстве. Это обусловлено целым рядом достоинств: совмещение высокой прочности с прекрасной теплозащитой, простотой и дешевой изготовлением. Но наряду с достоинствами, неавтоклавному пенобетону присущи некоторые недостатки. В первую очередь, это трещинообразование, связанное с повышенным расходом портландцемента, идущего на приготовление неавтоклавного пенобетона [1], а также повышенная деформативность и высокая хрупкость. Производство автоклавного газобетона в свою очередь представляет собой энергоёмкое производство.

В результате исследований ведущих научных коллективов страны найдены способы повышения качественных показателей неавтоклавного пенобетона. Одна из рекомендаций – дисперсное армирование неавтоклавного пенобетона волокнами: минеральными и искусственными, что обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик изделий и конструкций из пенобетона.

Армирование волокнами значительно уменьшает или полностью исключает появление и развитие усадочных трещин в процессе твердения и последующей эксплуатации материала. В жидкой минеральной среде на основе цемента присутствие волокнистого армирующего наполнителя уменьшает пластическую усадку, улучшает водоудерживающие способности, ограничивает седиментацию минеральных составляющих за счёт создания трёхмерной сети внутри минерального теста. Основными требованиями, предъявляемыми к армирующим волокнам, являются их прочность на растяжение, изгиб, сжатие, ударная стойкость и эластичность.

Механические характеристики армированного композита связаны с поверхностью раздела «волокно – цементная матрица». Свойства цементосодержащих армированных композиционных материалов определяются параметрами контактной зоны, составом конкретной смеси и совместимостью волокон с компонентами, а также равномерностью распределения игольчатых частиц в объёме композиционного материала.

Эффективным армирующим компонентом для пенобетонов является хризотилевоое волокно. В статье «Свойства и перспективы применения ячеистого фибропенобетона» [2] автор Юрий Владимирович Пухаренко отмечает, что при выборе вида армирующих волокон следует исходить из следующих требований, которым вполне удовлетворяет хризотил.

Первое, модуль упругости волокон должен превышать модуль упругости бетонной матрицы – у хризотила он составляет 164 ГПа.

Второе, волокна должны быть химически стойкими и не разрушаться в щелочной среде бетона – хризотил устойчив к щелочам.

Третье, волокна должны быть высокотехнологичными с целью обеспечения стабильности свойств получаемого материала – для конкретной технологии – определенная марка хризотила.

Четвертое, объем выпуска волокон должен обеспечивать объемы производства изделий

из фибропенобетонов – имеются большие резервы по производству хризотила.

Пятое, стоимость волокна должна быть минимальной с учетом указанных требований – стоимость хризотила составляет менее 10 тысяч рублей за тонну.

Итак, хризотилевоое волокно, издавна применяемое в строительстве и теплоизоляции, соответствует всем названным требованиям: модуль упругости хризотила в 16 раз выше модуля упругости цемента, волокно щелочестойкое, полифракционное – возможен подбор марки хризотила по фракционному составу, объем производства хризотила достаточный. И, наконец, стоимость хризотила значительно ниже большинства предлагаемых рынком искусственных волокон, а физико-механические свойства лучше (таблица 1).

Природный хризотил (ранее хризотил-асбест) это минерал группы серпентина моноклинной сингонии трубчатой, волокнистой структуры (гидросиликат магния – $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$). По кристаллохимической структуре представляет собой слоистый силикат, каждый слой которого состоит из гексагональной сетки кремнекислородных тетраэдров (SiO_4)⁴⁻, и октаэдрической сетки состава $Mg(OH)_2$ – «бруситовый мотив». Соответствие параметров сеток нарушены, и каждый слой свернут в трубочку с бруситовой сеткой снаружи (своеобразный «рулет»). В результате образуются тончайшие фибриллы хризотила трубчатого строения радиусом 13-20 нм. Для текстуры хризотила характерны два вида пор – цилиндрические

капилляры внутри волокон и капилляры между волокнами. Исследования под микроскопом (рис. 1) показывают наличие двух видов волокон: агрегаты, распущенные на тонкие пучки – макроволокна и сверхтонкие, часто волнообразные микроволокна, образующиеся при расщеплении агрегатов хризотила. Сверхтонкие волокна хорошо закрепляются на распущенной поверхности макроволокон хризотила, что обеспечивает высокую прочность волокна со значительной гибкостью.

По составу компонентов бетоны и ячеистые бетоны близки строительному материалу – хризотилцементу (новый термин, ранее – асбестоцементу), который применяется уже более ста лет и достаточно изучен. Пенобетон схож по составу основных компонентов (цемент и вода) и по принципу набора прочности (гидратация клинкерных минералов). Хризотил играет активную роль в процессах гидратации и твердения цемента: в результате хемосорбции поглощает из жидкой фазы гидрат окиси кальция, выделяющегося при гидратации алита (C_3S); адсорбирует и удерживает на своей поверхности слой гидросиликатов кальция и других новообразований.

Эти процессы ведут к ускорению процесса гидратации цемента. Тонкораспушенные волокна хризотила армируют цементный камень и улучшают его физико-механические характеристики [3]. Большая удельная поверхность хризотила предопределяет его высокую адсорбционную активность, особенно хорошо адсорбируются гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов:

Таблица

Физико-механические свойства армирующих волокон					
Волокно	Диаметр, мкм	Удельный вес, г/см ³	Модуль упругости, ГПа	Прочность на растяжение, ГПа	Удлинение при разрыве, %
Хризотил	0,02-0,4	2,6	164	3,1	2,0-3,0
Стекловолокно	9-15	2,6	70-80	2-4	2-3,5
Полипропилен	8-20	0,9	5-77	0,5-0,75	8,0
Арамид (Кевлар)	10	1,45	65-133	3,6	2,1-4,0
Углерод (high strength)	9	1,9	230	2,6	1,0
Полиамид	5-50	1,1-1,7	4,0	0,5-0,9	15,0-60
Целлюлоза	30-50	1,2	10	0,3-0,5	6-9
Полиэтилен		0,95	0,3	0,7*10 ⁻³	10
Древесное волокно	30-100	1,5	71,0	0,9	1-3
Sisal	10-50	1,5		0,8	3,0
Цементный камень (для сравнения)	-	2,5	10	3,7*10 ⁻³	0,02

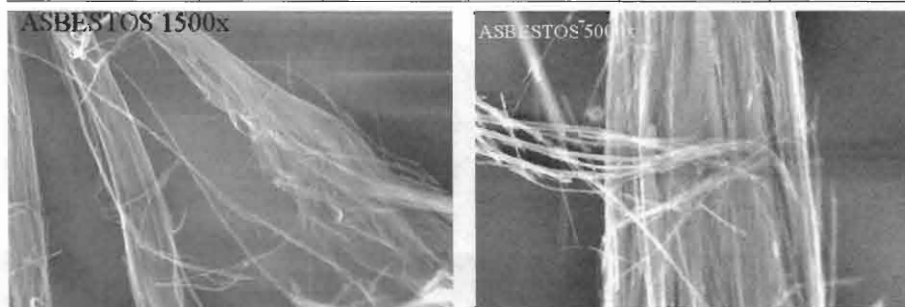


Рис. 1 Хризотилевоое волокно, увеличение в 1500 и 5000 раз

$\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$, NaOH , KOH . Основная роль хризотилового волокна заключается в том, что он воспринимает растягивающие напряжения и придает цементному камню некоторую эластичность. Хризотил является не только армирующим элементом, но и одновременно изменяет физико-химические процессы, ускоряет твердение цементного раствора. Хризотил набухает при его выдерживании в воде и в слабых растворах щелочей. Адсорбционная способность хризотила после набухания возрастает. Исследования показывают, что распушка хризотила усиливает развитие и прочность структур в суспензиях и повышает качество хризотилцемента.

Механизм взаимодействия цемента и хризотила изучен также в бетонах и пенобетонах – хризотил великолепно взаимодействует с цементом, армирует материал, покрывается продуктами гидратации цемента, изделия имеют длительный срок эксплуатации. В Строительных нормах СН 277-80 «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона» [4], разработанных в институте бетона и железобетона НИИЖБ Госстроя СССР рекомендовано: «в качестве волокнистой добавки следует применять хризотил-асбест 3-5 % (от массы сухих материалов)». Отмечена особенность при работе с хризотилом: «При добавлении в ячеистую смесь хризотил-асбеста его необходимо предварительно распушить в смесителе».

Однако широкое распространение практика использования хризотила в ячеистых бетонах не получила в связи с начавшейся на западе в 80-х годах антиасбестовой кампании, ограничившей и в нашей стране использование хризотила. Эта кампания является ни чем иным, как пиар-акцией, инициированной и профинансированной западными фирмами – производителями искусственных волокон, цель которой – дискредитация лучшего в мире натурального волокна и устранение с рынка самого большого производителя таких волокон – ОАО Ураласбест. Следует отметить, что цель была достигнута. В настоящее время использование асбеста в строительных изделиях в некоторых странах

запрещено. Взамен предлагаются различные искусственные волокна, стоимость которых в несколько раз превышает стоимость хризотила, а опасное воздействие этих заменителей недостаточно изучено и нет достоверных данных о влиянии их на здоровье людей в отдаленном периоде времени.

На самом деле, хризотил представляет некоторую опасность в виде пылевидных включений, которые могут вдыхаться во время приготовления строительных изделий. Но любая пыль, например цементная или кварцевая, находящаяся в воздухе рабочей зоны и вдыхаемая при производстве работ, также небезопасна. Соблюдение элементарных санитарно-гигиенических требований при изготовлении строительных изделий с хризотилом обеспечивает безопасность производства работ (общая вентиляция, аспирация рабочих мест, использование индивидуальных средств защиты (респираторов), и влажная уборка рабочего места). **В строительных изделиях хризотил находится в связанном состоянии, поэтому безопасен и разрешен к применению в строительстве Минздравом РФ.**

В публикациях: «Суперлегкий теплоизоляционный пенобетон» и «Новые технологии пенобетона» (авторы В.И. УДАЧКИН, В.М. СМЕРНОВ, И.Б. УДАЧКИН) [5,6] проанализирована возможность широкого производства неавтоклавного пенобетона, показан серьезный уровень исследований и научный подход к экспериментам. В статье приводятся данные по использованию различных волокон (стекложгут, базальтовые и хризотилловые волокна) для армирования неавтоклавного пенобетона с добавкой микрокремнезема. Оптимальное сочетание в составе суспензии цемента, микрокремнезема и волокон хризотила, предварительно обработанных жидким стеклом, формирует прочную матрицу пенобетона (получен патент). Результаты испытаний образцов пенобетона с различными волокнами приведены в таблице 2 и объективно констатируют достоинства хризотила: прочность на сжатие в 2,5 раза больше и прочность на изгиб в 2

раза выше по сравнению с другими волокнами при меньшей плотности пенобетона.

В феврале 2006 года теми же авторами выполнены поисковые лабораторные исследования новых технологических способов повышения качества неавтоклавного пенобетона. При введении 3 % и 5 % хризотила (от веса цемента) увеличились прочностные показатели пенобетона по сравнению с контрольными образцами (таблица 3).

В Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете проведены исследования заведующим кафедрой технологии строительных материалов и конструкций Ю.В. Пухаренко, который рекомендует совместное (полидисперсное) армирование волокнами неавтоклавного фибропенобетона [7]. Свойства пенобетона могут быть существенно улучшены при использовании комбинации синтетических и хризотилловых волокон: прочность при испытаниях на изгиб возрастает на 22-25%, при сжатии увеличивается на 8-10%, показатель трещиноустойчивости увеличивается в 1,4 раза (в сравнении с моноармированным) и в 2 раза – с неармированным бетоном (таблица 4). Величина усадочных деформаций значительно снижается (почти в 3 раза) при полидисперсном армировании (оформлены патенты).

В Уральском государственном техническом университете (УГТУ-УПИ) на кафедре «Технология вяжущих материалов и строительных изделий» проведена работа по армированию хризотилловыми волокнами образцов пенобетона. Результаты испытаний показывают, что при введении в состав смеси 2 % (от цемента) хризотилового волокна прочность на сжатие образцов пенобетона увеличилась на 25 % (марка А-6К-30) и на 39 % (марка А-6-45) в сравнении с контрольным образцом, при введении хризотилового волокна необходимо подобрать оптимальное водоцементное отношение.

Итак, возможность использования хризотилового волокна для армирования пенобетона (от конструкционного до суперлегкого) подтверждена строительными нормами, исследованиями специалистов и рядом патентов. Особенностью введения хризотила в пенобетоны является предварительная распушка волокна в смесителе, а также подбор определенной марки хризотила (заданного фракционного состава).

Пенобетон, армированный хризотилловым волокном, приобретает повышенную прочность на сжатие, на изгиб и стойкость к трещинообразованию.

ИВАНОВ В.В., ЧЕМЯКИНА Н.А.

ОАО «НИИпроектасбест», г. Асбест

Таблица 3

Вид волокна	Содержание компонента, мас.%			Плотность пенобетона, кг/м ³	Прочность пенобетона 28 суток, МПа	
	Пц 500	микрокремнезем	волокно		R _{сж}	R _{изг}
Стекложгут	57,14	20,00	22,86	150	0,6	0,45
Базальтовое	57,14	20,00	22,86	140	0,7	0,35
Хризотилловое	51,28	25,64	23,08	100	1,6	1,1
	44,11	29,42	26,47	55	1,2	0,7

Таблица 3

Вид образца	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Увеличение прочности, %	
		при сжатии, R _{сж}	при изгибе, R _{изг}	R _{сж}	R _{изг}
Контрольный	500	1,6	0,7		
Пенобетон с 3 % хризотила	500	2,0	1,4	25	100
Контрольный	800	2,7	1,1		
Пенобетон с 5 % хризотила	800	4,1	1,5	52	36

Таблица 4

Тип и количество армирующих волокон	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Напряжение в момент трещинообразования, МПа	Усадка, мм/м
		при изгибе	при сжатии		
Бетон без волокон	720	3,7	1,3	1,3	2,3
Капрон (1 мас. %)	710	3,2	5,0	1,6	2,0
Капрон (0,8 мас. %)					
Хризотил (0,2 мас. %)	720	3,9	5,4	2,3	1,1
Капрон (0,8 мас. %)					
СВМ (0,2 мас. %)	715	4,0	5,8	2,8	0,8

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. МИХЕЕНКОВ М.А., ПЛОТНИКОВ Н.В., ЛЫСАЧЕНКО Н.С. Кинетика твердения цементных безавтоклавных пенобетонов в присутствии силиката натрия // Строительные материалы. -2004. №3 с. 35-42.
2. ПУХАРЕНКО Ю.В. Свойства и перспективы применения ячеистого фибропенобетона / Популярное бетоноведение. -2006. № 1(9) с. 30-33.
3. НУДЕЛЬМАН Б.И. Физико-химические особенности использования хризотил-асбеста // Сборник докладов и выступлений: Современное состояние и перспективы развития асбестоцементной промышленности. -2004. с. 86-90.
4. СН 277-80 «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона»
5. УДАЧКИН В.И., СМЕРНОВ В.М. Суперлегкий теплоизоляционный пенобетон // Строительство и бизнес.-2003. № 8 (36), с. 6.
6. УДАЧКИН В.И., УДАЧКИН И. Б. Новые технологии в производстве пенобетона // Строительная газета. - 22.07.2005. № 29, с.6.
7. ПУХАРЕНКО Ю.В. Прочность и долговечность ячеистого фибробетона // Строительные материалы. -2004. №12, с. 40-41.