

АРМИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ ДИСПЕРСНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ИЗ БАЗАЛЬТА

Д.Е. Зимин, О.С. Татаринцева

С использованием высокомодульных базальтовых волокон различного типа получен дисперсно-армированный быстротвердеющий строительный бетон с повышенными прочностными характеристиками.

Ключевые слова: базальтовое волокно, химическая стойкость, армированный бетон, прочность.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня большая часть строительных работ ведется с применением бетона. Несмотря на ряд неоспоримых достоинств, неармированные бетоны характеризуются низкой ударной прочностью, низким сопротивлением на разрыв и образованием усадочных трещин при застывании, приводящих к снижению долговечности изделий из них. Традиционно эти проблемы решаются вторичным армированием, которое в конструкционном бетоне осуществляется применением стальной арматуры, а в перекрытиях – металлической сетки. Однако щелочная среда цементных бетонов приводит к эрозии стальной арматуры, что обуславливает образование пустот, которые являются концентраторами напряжений, ведущими к снижению эксплуатационных свойств. С целью экономии конструкционной стали, а также повышения долговечности и физико-механических свойств изделий предпринимаются попытки дисперсного армирования бетонной матрицы полипропиленовыми, стеклянными, базальтовыми и металлическими волокнами. Применение дисперсного армирования позволяет изготавливать конструкции сложной конфигурации, повышает пластичность бетонной массы и уменьшает образование усадочных трещин на стадии, когда она пребывает в пластическом состоянии, решает проблемы морозостойкости изделий, уменьшает общую массу конструкций. В случае проведения аварийно-восстановительных работ на транспортных и энергетических объектах (мосты, дамбы, железнодорожные вокзалы, станции метрополитена, взлетно-посадочные полосы аэродромов, опоры ЛЭП и т. п.) огромное значение имеет временной фактор. Чем быстрее будут проведены работы и чем раньше на восстановленные конструкции можно будет дать эксплуатационную нагрузку, тем меньше будут

экономические потери, величина которых несопоставима со стоимостью затраченных материалов.

Одним из ключевых элементов для сборных железобетонных конструкций является связка из строительного раствора, соединяющая их в единое целое. При этом монтажные работы могут быть выполнены за несколько часов, а набор прочности обычного строительного раствора займет 28 суток. В идеале растворная связка должна менее чем за сутки набирать прочность, сопоставимую с прочностью железобетонных конструкций, которые она соединяет, однако на практике даже для быстроотверждающихся растворов время твердения до достижения 60 %-ной прочности составляет не менее 3 суток.

В последнее время на российском строительном рынке появились высокоглиноземистые цементы европейского производства (CAC, Secar-51, Secar-71) и ремонтные составы на их основе, например, Mapergout Fast-Set, набирающие проектную прочность в точном возрасте [1]. Они полностью пригодны для ремонтных работ, обладают уникальными свойствами, но чрезмерно дороги и дефицитны.

Исходя из этого, весьма актуальной является разработка отечественного высокопрочного быстротвердеющего цементного бетона, имеющего существенно более низкую стоимость.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основой для разрабатываемого состава послужила рецептура строительного раствора, предложенная авторами [2]. Для его изготовления использовали портландцемент марки П 400, кварцевый песок с модулем крупности 2,5, прокаленный в течение 3 ч при температуре 200 °С, в соотношении 1:2 и воду. Для повыше-

ния прочностных показателей в качестве дисперсного армирующего элемента рассматривались волокна различной природы. Согласно литературным данным [3], основными недостатками металлических армирующих волокон является их очень низкая стойкость к агрессивной среде цементных растворов. Изделия, армированные полипропиленовыми волокнами, обладают значительными деформациями даже при небольших нагрузках растяжения, что объясняется низкой адгезией полипропилена к цементной матрице, имеют высокую истира-

емость поверхности. Стандартные волокна из стекла корродируют в бетоне при воздействии на них щелочной среды гидратации цемента, в результате чего с течением времени они теряют свои прочностные свойства [4].

Предварительно проведенные экспериментальные исследования показали, что более высокой прочностью и химической стойкостью, что немаловажно для использования их в щелочной цементной среде, обладают волокна из природного камня – базальтовые (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики базальтовых непрерывных волокон

Наименование показателя	Значение показателя	
	Тонкое волокно	Грубое волокно
Средний диаметр волокна, мкм	10	150
Прочность при растяжении, МПа	2500	2200
Модуль упругости, МПа	110000	92000
Химическая устойчивость, %, в среде:		
H ₂ O	99,6	-
2N HCl	88,9	-
2N NaOH	81,2	-
Насыщенный раствор Ca(OH) ₂	-	99,8
Жидкая фаза портландцемента	-	99,9

Химическую стойкость волокон χ оценивали по сохранению массы m после воздействия на них различных агрессивных сред: кипящей воды, кислоты и щелочи:

$$\chi = \frac{m_{\text{ост.}}}{m_{\text{исх.}}} \cdot 100\%$$

Для исследований брали массу волокон длиной 5 см, обеспечивающую их общую поверхность 5000 см². Величину навески в граммах рассчитывали по формуле:

$$m = \frac{\pi d^2}{4} l \rho = 1250d\rho,$$

где d и l – диаметр и длина волокна соответственно, см; ρ – плотность стекла, г/см³, измеренная методом гидростатического взвешивания.

Волокна обрабатывали кипячением в течение 3 ч в 250 мл соответствующего реагента,

после чего переносили их на фильтр, промывали дистиллированной водой, высушивали до постоянной массы при температуре 110 °С и рассчитывали процент ее сохранения.

Жидкую фазу твердеющего портландцемента имитировал раствор, содержащий в 1 л дистиллированной воды, г: K₂O – 2,38; Na₂O – 2,88; CaO – 1,00.

С учетом полученных положительных результатов по химической стойкости базальтовых волокон были проведены исследования по установлению возможности использования их в качестве армирующих наполнителей бетона.

Промышленный базальтовый ровинг РБ 13-800-76 с диаметром элементарного волокна ~ 13 мкм и непрерывные грубые волокна со средним диаметром 200 мкм, полученные в лабораторных условиях на однофильной установке, рубили на штапики (фибру) длиной 4-6 мм (рисунок 1).



Рисунок 1 – Базальтовая фибра из тонкого (а) и грубого (б) волокна

Ровинг перед замешиванием с цементно-песочной массой подвергали термической обработке при 250 °С в течение 2 ч для удаления с поверхности волокон замасливателя и других примесей, снижающих адгезию наполнителя к бетонной матрице. Содержание замасливателя после отжига составляло ~ 0,2 % по отношению к массе волокна.

Компоненты (цементный раствор и дисперсный базальтовый материал) смешивали в течение 10 мин в сухом виде и 10 мин после добавления воды. В смесителе принудительного действия пучки волокон достаточно быстро расщепляются на отдельные волокна, создавая в структуре материала равномерную объемную конструкцию, армирующую его на микроуровне. Затем полученной массой заполняли специально изготовленные формы и оставляли отверждаться на воздухе при

комнатной температуре трое суток, в течение которых набор прочности составлял ~ 60 %. Проектная прочность достигалась после 10 суток твердения.

Из приведенных на рисунке 2 данных видно, что после армирования прочность бетона повышается в 1,3– 1,8 раза в зависимости от вида наполнителя. При этом оптимальное содержание его для частиц с разной удельной поверхностью существенно отличается.

Так, для образцов бетона с тонким волокном максимальные значения механических показателей реализуются при содержании 3 % масс., а для грубого волокна при 4 %-ной его концентрации в композиции. Это объясняется тем, что с увеличением диаметра волокна происходит уменьшение поверхности контакта между ним и цементным камнем, что обуславливает снижение коэффициента армирования.

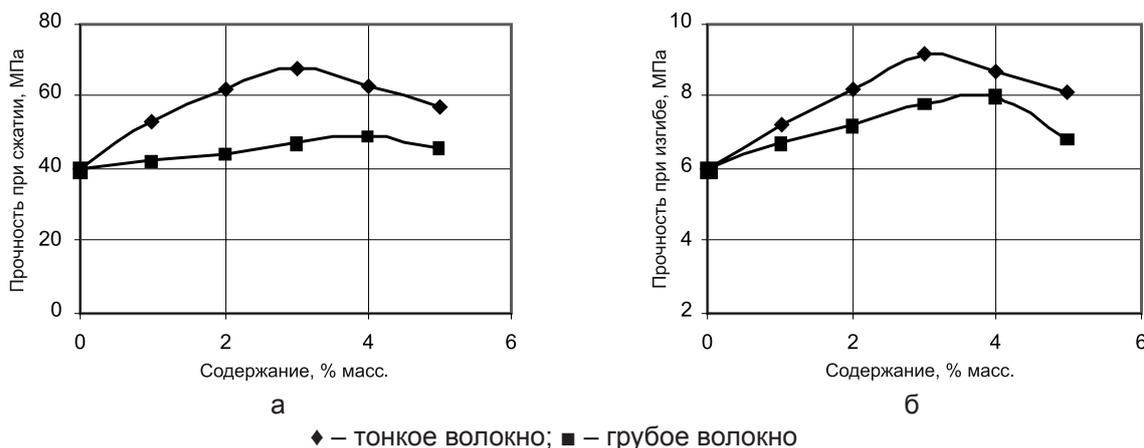


Рисунок 2 – Зависимость прочности бетона при сжатии (а) и изгибе (б) от содержания армирующего наполнителя

Дальнейшее увеличение содержания армирующего наполнителя приводит к неполному смачиванию его цементным раствором, в результате чего образуются пустоты и теряется монолитность образца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что базальтовые волокна обладают достаточно высокой химической стойкостью, в том числе в среде гидратирующихся цементов, а цементные бетоны, армированные дисперсными материалами из базальта, характеризуются повышенной прочностью на сжатие и изгиб. Такие базальтофибробетоны могут использоваться при строительстве и восстановлении гидротехнических сооружений, мостов, конструкций, работающих в агрессивных средах, фундаментов зданий, наливных полов

и др. Одним из преимуществ применения базальтобетона является уменьшение толщины бетонного слоя и, соответственно, снижение общей стоимости строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bier T., Amatheu L. Calcium aluminate cement in building chemistry formulations / Proceedings of Conchem, Dusseldorf, 1997. – С. 69–72.
2. Ваучский М.Н., Дудурич Б.Б. Высокопрочный быстротвердеющий строительный раствор для аварийно-восстановительных работ // Строительные материалы. – 2009. – № 10. – С. 20–22.
3. Рабинович Ф.Н. Дисперсно –армированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1989. – 250 с.
4. Рабинович Ф.Н., Клишанис Н.Д. Устойчивость стеклянных волокон к воздействию среды гидратирующихся цементов // Неорганические материалы: Изв. Акад. наук СССР, – 1982. Т. 18, – № 2. – С. 56–59.

Зимин Дмитрий Евгеньевич, научный сотрудник лаборатории материаловедения минерального сырья, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), labmineral@mail.ru, 659322, Алтайский край, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, тел. (3854) 30-59-06.

Татаринцева Ольга Сергеевна, д-р техн. наук, доцент, зав. лабораторией Материаловедения минерального сырья Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН). Тел. 30-58-82. E-mail: labmineral@mail.ru.

УДК 678.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИАНГИДРИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО, МОДИФИЦИРОВАННОГО СИЛИКАТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

А.А. Васильева, М.П. Лебедев, А.К. Кычкин, О.С. Татаринцева

В работе приведены результаты исследования влияния нанодисперсных частиц силикатного типа на физико-механические свойства эпоксидангидридного связующего. Показано, что с введением наночастиц значительно повышаются упруго-прочностные параметры связующего и возрастает адгезионное взаимодействие его с армирующими базальтовыми волокнами.

Ключевые слова: композиционный материал, эпоксидангидридное связующее, силикатные наночастицы, физико-механические характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

Композиционные материалы представляют собой сложные многокомпонентные искусственные структуры, состоящие из матрицы (связующего) и армирующего наполнителя, с четко разделяющей их границей. Примером таких материалов являются пластики, содержащие эпоксидную матрицу, армированную базальтовыми непрерывными волокнами (БНВ), обладающие высокими эксплуатационными параметрами (малая удельная масса, долговечность, низкая теплопроводность, электрическая прочность, тепло- и химическая стойкость), позволяющими во многих случаях заменить дерево, металл и др. [1, 2].

Каждый из компонентов играет определенную роль в формировании комплекса свойств композиционного материала, необходимого для удовлетворения требований, предъявляемых к изделию в условиях эксплуатации.

Перспективность применения БНВ при создании пластиков обусловлена их уникальными свойствами – высокой механической прочностью, термостойкостью, устойчивостью в агрессивных средах, широким температурным диапазоном эксплуатации (от минус 200 °С до плюс 700°С) [3–5]. Немаловажным является и то, что перерабатывать их в композитные материалы можно по технологиям, принятым для стеклопластиков, без переналадки действующего оборудования.

Выбор эпоксидных олигомеров в качестве связующих для пластиков обусловлен их лучшей по сравнению с другими полимерами адгезией к силикатным волокнам, повышенными значениями прочности и ударной вязкости, термостойкостью [5, 6].

Однако, несмотря на перечисленные выше высокие свойства базальтопластиковых материалов и изделий, пути их совершенствования далеко не исчерпаны, и одним из них является наномодификация связующих, применяемых при изготовлении композитов.

Создание нанокompозитов различного функционального назначения с высоким уровнем технических характеристик требует решения задач по формированию наноструктурной организации дисперсных компонентов в материале. В процессе переработки полимеров, модифицированных наносоединениями различной химической природы, возможно развитие процессов самоорганизации нанодисперсных компонентов, как собственно наполнителей, так и структурных элементов связующего. При этом могут формироваться пространственные непрерывные структуры, ответственные за существенное изменение свойств получаемого материала.

Решение задачи осложняется тем, что часто эффекты, достигнутые на самом связующем, нивелируются при введении непрерывного наполнителя – волокна. В связи с этим научно-практический интерес представляет