

ИССЛЕДОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРЯГАЮЩИХ БЕТОНОВ, АРМИРОВАННЫХ БАЗАЛЬТОВЫМ ФИБРОВЛОКНОМ

Павлова И.П., Беломесова К.Ю.

Основной тенденцией в развитии высокоэффективных бетонных композитов в настоящее время является улучшение их физико-механических и эксплуатационных характеристик за счет дисперсного армирования разного рода волокнами-фибрами. В качестве последних выступают различные виды металлических и неметаллических волокон минерального и органического происхождения (см. рис. 1).

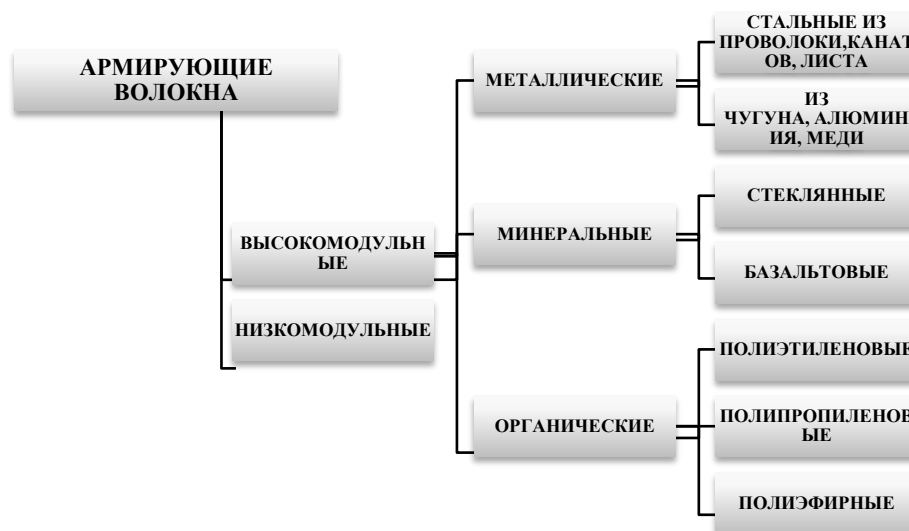


Рисунок 1 – Классификация армирующих волокон [1]

Армирование высокодисперсными волокнистыми наполнителями ведет к устранению основных недостатков бетона – низкой прочности на растяжение и хрупкости разрушения (трещиностойкости). В целом, среди множества материалов, применяемых для дисперсного армирования бетонов, на основании существующих, а также собственных исследований в данной области [2, с.75], необходимо отдельно выделить базальтовые волокна. Перспективность их использования объясняется многими факторами, главные из которых в большей степени основаны на природе самого волокна: базальтовое волокно является продуктом тепловой обработки горной породы типа базальт, обладающим высокими прочностными и физико-механическими характеристиками, свойственными исходной породе.

Базальтовые волокна в свою очередь делятся на две большие группы: непрерывные и дискретные волокна, имеющие существенные различия, начиная от способа производства и заканчивая областью применения. Дискретное базальтовое волокно (вата) представляет собой супертонкие волокна толщиной около 3-9 мкм, применяемые в основном для производства энергоэффективных теплозвукоизоляционных материалов (матов, плит), а также в качестве самостоятельного наполнителя объемно армированных базальтовых композиционных материалов и изделий. Непрерывное базальтовое волокно (ровинг) в свою очередь имеет толщину элементарного волокна в пределах от 7 до 26 мкм, что позволяет с успехом применять его в качестве армирующего наполнителя при производстве композитов с полимерными и неорганическими матрицами, а также с органическим и минеральным связующим (бетоном, асфальтом, гипсом и т. п.).

Особый интерес при выборе армирующего компонента бетонных композитов вызывает разновидность непрерывного базальтового волокна – рубленое волокно (далее фиброволокно), получаемое методом производственной рубки из ровинга отрезков заданной длины, состоящих из множества параллельно уложенных элементарных волокон, собранных замасливателем во временные пучки (рис. 2).

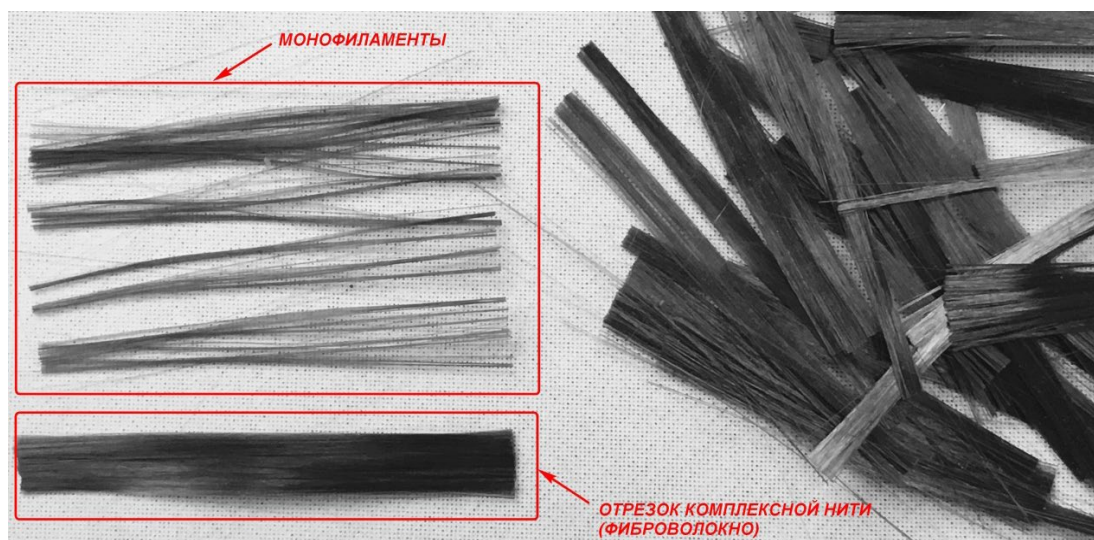


Рисунок 2 – Базальтовое фиброволокно

При соединении базальтовых фиброволокон с компонентами смеси, в процессе перемешивания эти временные пучки распадаются на отдельные монофиламенты, которые в свою очередь свободно и хаотично распределяются во всем объеме композита, вызывая так называемый эффект 3D-армирования. Таким образом, в цементном композите формируется пространственная микроармированная цементная матрица, которая, в свою очередь, эффективно противодействует сжимающим и растягивающим напряжениям, возникающим в бетоне при внешних силовых воздействиях.

Вместе с тем, необходимо отметить, что базальтовое фиброволокно имеет массу преимуществ перед другими армирующими волокнами (стальными, стеклянными, полипропиленовыми и т.п.), с успехом применяемыми в современном строительстве. Выражается это в уникальных свойствах базальтовых волокон: высоком уровне физико-механических и химических свойств, повышенной стойкости в агрессивных средах, долговечности, стабильности свойств при длительной эксплуатации в различных условиях, хорошей адгезии к различным связующим и т.п. Также базальтовые волокна обладают высокими конструкционными, теплозвукоизоляционными, диэлектрическими и другими свойствами, позволяющими широко использовать их в различных отраслях промышленности.

Однако, при решении вопросов дисперсного армирования цементных композитов базальтовым волокном, по-прежнему нет единого мнения о его способности противостоять воздействиям среды гидратирующих цементов, являющейся достаточно агрессивной по отношению ко всем видам волокон, особенно минеральных. В своих работах группа авторов во главе с Бабаевым В.Б [3, с. 65] говорят о достаточно высокой степени разрушения, а в некоторых случаях, вообще о растворении базальтовых волокон в щелочной среде, однако, необходимо отметить, что речь здесь идет о штапельном базальтовом волокне, конечные характеристики которого напрямую зависят от способа его производства. Штапельное волокно получают методом выдувания из расплава, в результате чего получают супертонкие волокна с развитой поверхностью и наличием нежелательных дефектов (пор и микротрещин) на поверхности самого волокна, способствующих быстрому протеканию процессов адсорбции агрессивной среды, что в дальнейшем ведет к снижению прочности волокна в целом, а в некоторых случаях к разрушению. Подтверждение непригодности штапельного базальтового волокна для дисперсного армирования цементных бетонов также нашло место в работах Боровских И.В. [4, с. 49]. Вместе с тем, он утверждает, что базальтовое волокно полученное методом вытягивания из расплава через фильеру, незначительно теряет свою прочность в щелочной среде гидратирующих цементов и не влияет на прочность всего фиброармированного композита. Таким образом, разница этих двух видов волокон, заключается в том, что базальтовое волокно получаемое вытягиванием, обладает более гладкой поверхностью, что хорошо видно на микрофотографии комплексной нити базальтового фиброволокна (рис. 3) в меньшей степени, обладающей наличием таких дефектов, как поры и микротрещины.

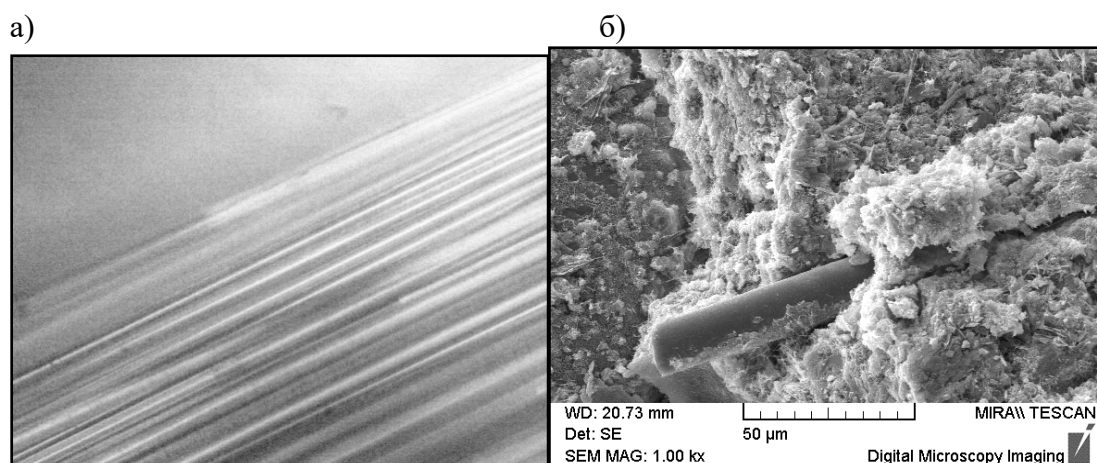


Рисунок 3 – Микрофотография базальтового фиброволокна:

а) комплексная нить (фиброволокно)

б) элементарное волокно в цементном камне

Необходимо отметить, что на сегодняшний момент существует целый ряд исследований отечественных и зарубежных ученых, подтверждающих перспективность использования базальтового волокна для дисперсного армирования бетонов [1,2,4], но в тоже время существует довольно много работ исследователей, ставящих под сомнение способность базальтового волокна сопротивляться щелочным средам цементных систем [3].

Противоречивость результатов исследований связана со многими факторами, в особенности с использованием различных методик при изучении данного вопроса, отличием в химических составах базальтовых волокон и т.п. Даже в условиях противоречивости данных о стойкости базальтовых волокон в цементных системах, в настоящее время разрабатываются различные способы и методы его защиты от разрушения в щелочной среде.

На сегодняшний день наиболее эффективным способом защиты базальтового волокна в среде гидратирующих цементов является снижение щелочности (pH) данной среды до допустимых пределов. Достичь этого возможно как минимум двумя способами: - введением добавок различной природы и дисперсности; - выбором оптимального типа цемента. Таким образом, на основании собственных исследований в данной области, наиболее эффективным способом снижения уровня pH среды до допустимых пределов, и, соответственно, повышения стойкости базальтового волокна в цементных системах является применение напрягающих цементов (НЦ).

Экспериментальным путем в лабораторных условиях получен напрягающий цемент, состоящий из портландцемента и расширяющейся добавки, представленной высокоактивным метакаолином (ВМК) и природным гипсом. Процентное соотношение компонентов напрягающего цемента следующее: ПЦ:ВМК:Г=71:14:15.

Применение напрягающего цемента в свою очередь решает ряд следующих задач: - частичное снижение или полное исключение усадочных деформаций бетона; - повышение тепло-, газо-, водонепроницаемости бетонного композита и др.

Благодаря применению в качестве одного из компонентов расширяющейся добавки высокоактивного метакаолина, обладающего высокой пуццолановой активностью, в цементной системе наблюдается снижение содержания CaO и соответственно снижение pH среды, что говорит о создании более благоприятных условиях, позволяющим базальтовым волокнам сохранить свои высокие прочностные характеристики [4, с. 60].

Как было отмечено ранее, эффективность применения напрягающего цемента (далее НЦ) в качестве вяжущего вещества для бетонных композитов, заключается не только в уменьшении щелочности среды гидратирующих цементов, но и в решении главного недостатка цементных бетонов – развитии усадочных деформаций бетона, развивающихся как во время гидратации, так и в процессе эксплуатации конструкции.

В ходе экспериментальных исследований был получен оптимальный состав напрягающего цемента с высокими значениями свободных и связанных деформаций, что позволяет с успехом применять его во многих отраслях строительства, в особенности при строительстве и ремонте гидротехнических сооружений.

Вместе с тем, необходимо отметить, что применение базальтового волокна в качестве армирующего компонента бетонных композитов, влияя на повышение прочностных характеристик (прочности на растяжение при изгибе), также оказывает определенное воздействие на процессы развития относительных деформаций напрягающего бетона.

На рисунке 4 представлено графическое изображение процесса роста свободных деформаций контрольных образцов двух серий:

Серия А – цементно-песчаные образцы на основе напрягающего цемента;

Серия В – цементно-песчаные образцы на основе НЦ, дисперсно армированные базальтовым фиброволокном (5 % от массы вяжущего).

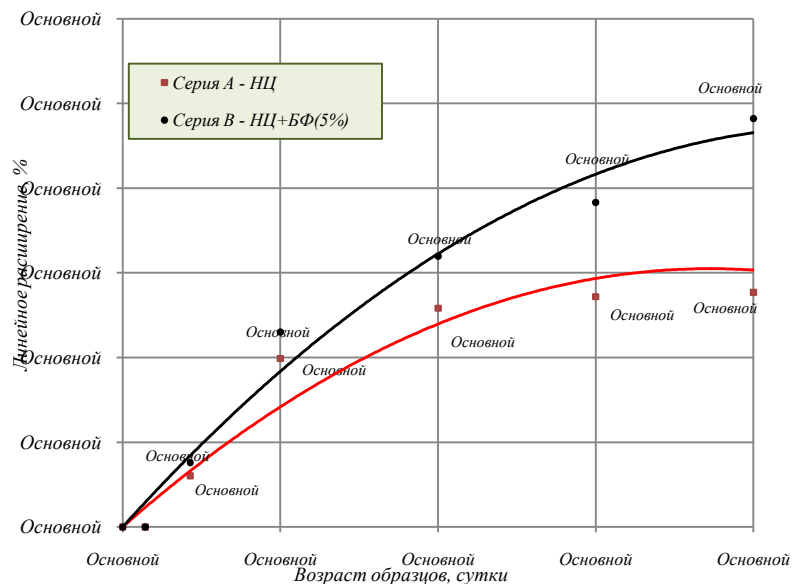


Рисунок 4 –Процесс развития линейного расширения за 28 суток

В результате обработки полученных данных, величина линейного расширения образцов-призм серии А в возрасте 28 суток составила – 0,96 %. Что касается значения линейного расширения образцов-призм серии В (с армированием базальтовым фиброволокном в количестве 5% от массы вяжущего), то в возрасте 28 суток оно составило – 0,55 %. Полученные значения величин свободных деформаций композита находятся в допустимых пределах, приведенных в СТБ 1335 [5], а именно согласно нормативному документу линейное расширение напрягающего цемента должно быть не менее 0,05 и не более 2,0 %.

Таким образом, применение базальтового фиброволокна ограничивает рост развития свободных деформаций цементных композитов, что связано со структурированием смеси, заключающимся в объемном распределении моноволокон в цементной матрице и созданием, так называемого пространственного каркаса, повышающего внутреннее трение и ограничивающего перемещение составляющих матрицы. Вместе с тем, данные, полученные в ходе исследований, направленные на выявление степени влияния базальтового фиброволокна на прочностные характеристики бетонных композитов, позволяют с большой уверенностью говорить о целесообразности применения данного волокна в качестве армирующего компонента цементных бетонов.

Средние значения прочности контрольных образцов на растяжение при изгибе серий А и В на основе напрягающего цемента, полученные в ходе исследований приведены в виде гистограмм (рисунок 5).

По полученным данным, видно, что армирование цементной смеси базальтовым фиброволокном в количестве 5 % от массы вяжущего, повышает значение прочности на растяжение при изгибе примерно на 120 %.

Увеличение прочностных показателей напрягающего цемента обусловлено целым рядом причин: - природой и структурой базальтовой фибры, - равномерным распределением волокна в теле цементной матрицы, - созданием пространственного каркаса и т.п.

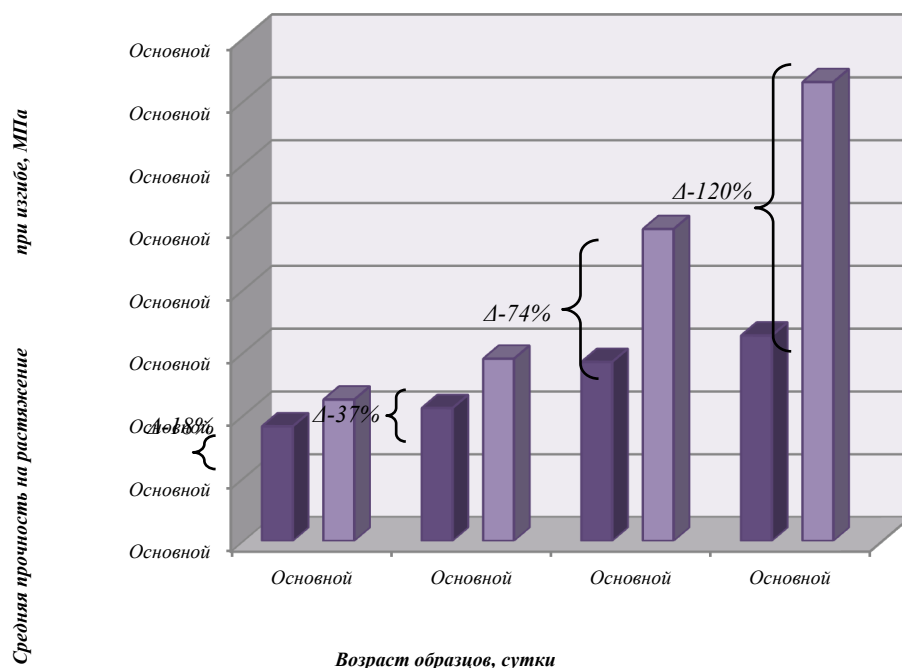


Рисунок 5 – Прочностные характеристики опытных образцов на растяжение при изгибе

Заключение:

1. Дисперсное армирование цементных систем базальтовым волокном ведет к созданию жесткого пространственного каркаса, за счет свободного и хаотичного распределения элементарных волокон в теле композита, что позволяет противостоять разрушающим напряжениям, приводящим к образованию сквозных или поверхностных трещин;

2. Эффективным способом создания благоприятных условий, позволяющих сохранить прочностные характеристики базальтовой фибры в цементных композитах, является применение напрягающего цемента на основе расширяющейся добавки сульфоалюминатного типа;

3. Ведение базальтового фиброволокна в расширяющиеся цементные системы приводит к частичному ограничению собственных деформаций композитов, при этом за счет высокой адгезии с модифицированной цементной матрицей приводит к повышению прочности на растяжение при изгибе.

4. Применение базальтовой фибры (БФ) совместно с напрягающим цементом (НЦ) позволяет добиться не только роста прочностных характеристик напрягающих бетонов, но также ведет к повышению непроницаемости

5. Для нейтрализации эффекта частичного разуплотнения в высокоактивных напрягающих бетонах в качестве армирующего компонента следует использовать базальтовую фибру, создающую эффект 3D- армирования и позволяющую использовать химическое преднапряжение.

Список источников

1. Рабинович, Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: Монография – М.: Издательство АСВ, 2004. – 560 с.

2. Беломесова, К. Ю. Применение базальтовой фибры в качестве армирующего компонента в цементно-песчаных композитах // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства : сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: В. Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2016. – С. 74 – 77.

3. Бабаев, В. Б. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе // Вестник Белгородского госуд. технолог. университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – №2. – С.63–66.

4. Боровских, И. В. Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Боровских Игорь Викторович; [Место защиты: Казан. гос. архитектур.-строит. ун-т] – Казань, 2009. – 168 с. – Библиогр.: с. 146–163.

5. Цемент напрягающий. Технические условия: СТБ 1335-2002. – Введ. 01.01.2003 – Мн.: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.