

*Клюев А. В., канд. техн. наук, ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ФИБРОБЕТОННЫХ КОМПОЗИТОВ*

klyuyev@ya.ru

В статье выявлены параметры бетонной матрицы, армированной фибрами влияющие на ее свойства. Установлено, что ориентация фибр и их равномерное распределение по всему объему цементной матрице приводит к увеличению эксплуатационных характеристик композита. Представлен оптимальный процент дисперсного армирования бетона, при котором наблюдается наибольший прирост прочности. Установлены факторы влияющие на качество фибробетонных композитов.

Ключевые слова: фибробетон, фибра, бетон, цементная матрица, прочность бетона.

Свойства бетонной матрицы при дисперсном армировании фибрами зависят от структуры композита. В связи с этим, для того, чтобы проанализировать эти композиты и спрогнозировать их поведение при различных нагрузках, необходимо изучить состав бетонной матрицы и рассмотреть основные составляющие: состав цементной матрицы; форму и распределение фибр; контактную зону «цементный камень – фибра».

Для дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов цементная матрица не отличается от матрицы, в других мелкозернистых бетонов, и обычно состоит из: цемента, песка, наполнителя и воды [4 – 13, 15]. В фибробетонах содержание фибры варьируется от 1% до 15%. Она используется для вторичного укрепления, для предотвращения образования трещин. Производство фибробетонов осуществляется обычными способами. Использование большего количества фибр возможно за счет использования простых технологий смешивания, но с использованием усовершенствованных матричных составов, основанных на сложном контроле реологии и микроструктуры смеси. Плотная микроструктура в этих композитах, также как и улучшенная реология, дают возможность объединить и унифицировать дисперсию в размере от 2 до 6% за счет объема коротких фибр, которые могут обеспечить эффективное упрочнение.

Упрочненная фибрами матрица может принимать различную конфигурацию и при описании их природы необходимо рассмотреть два уровня геометрического описания: концентрацию фибр в растянутой зоне и их распределение по всей цементной матрице [1 – 3, 14, 16, 17].

Отдельные фибры подразделяются на 2 группы: дискретные моноволокна, отделенные друг от друга (например, сталь) и объединенные фибры, как правило, составляемые из пучка волокон диаметром более 10мм каждое. Связанная структура типична для многих искусственных волокон: как для неорганических (например, стекло), так и для органических (например, карбон), также она встречается и у естественных

волокон (например, асбест). Объединенные фибры часто сохраняют свой связанный характер в самом композите и не распадаются на отдельные фибры. Моноволокна фибр, используемые для упрочнения цемента, редко бывают цилиндрической формы, но принимают различные конфигурации, для улучшения сцепления фибр с матрицей за счет механической анкеровки.

Для обеспечения эффективного анкерования, а также поддержания соответствующей работоспособности, был оценен ряд фибр, имеющих сложную конфигурацию, начиная с фибр, имеющих искривленное многоугольное поперечное сечение, заканчивая фибрами в форме кольца [9 – 10].

Существует 2 принципиально различных вида матриц, упрочненных фибрами: непрерывное армирование, т.е. длинными фибрами, которые внедрены в матрицу такими технологиями, как накальная обмотка или наслаивание слоев фибрового волокна; и отдельными короткими фибрами, длиной менее 50 мм, которые вводятся в матрицу распылением или смешиванием. Армирование матрицы можно дополнительно классифицировать по распределению фибр в матрице. Непрерывным по форме фибрам можно задавать нужную ориентацию, что контролируется производственным процессом (ориентацией намотки или направлением наслаивания волокон) и структурой слоя фибр. Этот тип армирующих волокон имеет некоторое сходство с применениями ферроцемента, его реже можно встретить в фибробетонных смесях, которые обычно армируются отдельными короткими фибрами. В случае распределенных фибр, распределение в матрице более однородно и короткие фибры склонны принимать случайную ориентацию.

Цементные смеси характеризуются межфазной переходной зоной, находящейся в непосредственной близости к армирующим включениям, в которой структура тестовой матрицы значительно отличается от структуры основной матрицы, находящейся далеко от границы. Ха-

ракти и размер этой переходной зоны зависит от типа фибр и технологии производства; в некоторых случаях она может со временем значительно изменяться. Эти характеристики контактной зоны «цементный камень – фибра» оказывают ряд воздействий, которые следует принимать во внимание, особенно по отношению к связи фибра-матрица и процессу сцепления на границе раздела.

Матрица в районе волокна гораздо более пориста нежели чем матрица основного теста, и это находит свое отражение в развитии микроструктуры, достижении гидратации: вначале заполненная водой переходная зона не развивает плотную микроструктуру типичной основной матрицы и содержит значительный объем кристаллов СН, который, как правило, откладывается в больших полостях.

При рассмотрении развития микроструктуры в переходной зоне следует проводить различие между отдельными моноволокнами, отделенными друг от друга (например, сталь) и объединенными волокнами (например, стекло). У фибровых моноволокон, вся поверхность может находиться в непосредственном контакте с матрицей; что касается объединенных волокон, только внешние волокна могут иметь прямой доступ к матрице.

При рассмотрении и описании влияния фибр, изменение свойств в фибробетоне всегда выражается термином – среднее содержание фибр. Предполагается, что волокна равномерно распределены в матрице и ориентированы случайным образом. К сожалению, вероятно, ни одно предположение невозможно будет исправить, после того, как фибробетон будет заформован и уплотнен вибрацией, и это приводит не только к значительному разбросу значений в данных испытаниях, но также и к значительным различиям в измеренных значениях, из-за направления приложения нагрузки по отношению к направлению распределения волокон [18 – 21].

Когда мы используем виброплощадку, фибры выравниваются в горизонтальной плоскости. Волокна в основном выравниваются параллельно боковым граням формы, близко к ним. Тип вибрирования и направление распределения может оказать существенное влияние на прочность. При испытании, когда направление приложения нагрузки было перпендикулярно направлению распределения волокон, показания прочности при изгибе и жесткость были ниже получаемых при приложении нагрузки параллельно направлению распределения волокон. Установлено, что этот эффект был сильнее у текущих смесей, так как наблюдалось большее

оседание фибр во время распределения. Однако, ориентация волокон мало влияет на динамический модуль упругости, так как упругие свойства оцениваются по низким значениям напряжений, при которых еще не образуются существенные трещины.

Фибры необходимо ориентировать, таким образом, чтобы они были перпендикулярны прикладываемой нагрузке. Кроме того, их желательно однородно распределить по всему объему цементной матрицы. Однако, в цементной матрице они вряд ли будут распределены действительно равномерно, и это также будет зависеть от ориентации сечения по отношению к распределению волокон. Проведенные исследования с помощью растровой электронной микроскопии это подтвердили. Если волокна могут быть ориентированы одноосно, в некотором роде, тогда механические свойства фибробетона могут быть значительно улучшены на время действия напряжений в нужном направлении.

Эффективность волокон (т.е. сопротивление волокон выходу из цементной матрицы) возрастает с увеличением соотношения сторон. Кроме того, адгезия между ними также возрастает с увеличением прочности матрицы. Тем не менее, для гладких, прямых волокон с соотношением сторон около 100, как правило, возможно приготовить смесь с достаточной работоспособностью и равномерным распределением фибр. Таким образом, в фибробетоне с правильно соблюденными пропорциями компонентов, разрушение возникает из-за выхода фибр, даже с деформированными фибрами.

Таким образом, различная геометрия фибр и взаимодействие матрицы с волокном могут повлиять на поведение фибробетона при изгибе. Выявлено, что понятие соотношение сторон (l/d), которое было разработано для гладких прямых фибр, не очень удобно при работе с деформированными волокнами.

**Работа выполнена в рамках реализации стипендии Президента Российской Федерации СП - 5949.2013.1 и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 г. грант №Б-7/14.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адамян И.Р. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных брусьев прямоугольного поперечного сечения с составной облойкой при сжатии и изгибе: автореф. дис. канд. техн. наук. Белгород, 2000. 19 с.
2. Адамян И.Р. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния сталебетонных коротких колонн // Сооружения, конструкции, технологии и строит. мат.

XXI века: Сб. докл. II Межд. конф.-шк.-сем. молодых ученых, аспирантов и докторантов. Белгород: Изд. БелГТАСМ, 1999. Ч.2. С.3-6.

3. Адамян И.Р. Экспериментальные исследования сталебетонных стержней при поперечном изгибе // Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в пром.-ти строит. мат. и строительстве на пороге XXI века: Сб. докл. Межд. научно-практической конф. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. С.3-6.

4. Клюев С.В. Высокопрочный сталефибробетон на техногенных песках КМА // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. – № 11. С. 38 – 39.

5. Клюев С.В. Фибробетон для каркасного строительства // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.3. С. 37 – 38.

6. Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе отсева кварцитопесчанника // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.3. С. 27 – 31.

7. Клюев С.В. Сталефибробетон на основе композиционного вяжущего // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.3. С. 32 – 36.

8. Клюев С.В. Основы конструктивной организации природных и искусственных материалов // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: сб. студ. докл. Международного конгресса: В 2 ч. Ч. 1. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. С. 161 – 163.

9. Клюев С.В. Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 61 – 66.

10. Клюев С.В. Экспериментальные исследования фибробетонных конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. №4 С. 71 – 74.

8. Клюев С.В., Авилова Е.Н. Бетон для строительства оснований автомобильных дорог на основе сланцевого щебня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 38 – 41.

9. Клюев С.В. Высокопрочный сталефибробетон на техногенных песках КМА // Технологии бетонов. 2012. №. 5 – 6. С. 33 – 35.

10. Клюев С.В. Применение композиционных вяжущих для производства фибробетонов // Технологии бетонов. 2012. №1 – 2. С. 56 – 58.

11. Клюев С.В. Ползучесть и деформативность дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 85 – 87.

12. Клюев С.В., Клюев А.В. Пределы идентификации природных и инженерных систем // Фундаментальные исследования. Т.12. Ч.2. 2007. С. 366 – 367.

13. Лесовик Р.В., Клюев А.В., Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций // Технологии бетонов. 2014. №2. С. 44 – 45.

14. Минасян А.Г., Калашников А.Т., Серых И.Р. Мероприятия для увеличения долговечности ПВИ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. № 11. С. 355 – 360.

15. Монолитный фибробетон для полов промышленных зданий / С.В. Клюев, А.В. Нетребенко, А.В. Дураченко, Е.К. Пикалова // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 19. №1. С. 29 – 32.

16. Патент РФ № 2122083, 20.19.1998. Чихладзе Э.Д., Колчунов В.И., Адамян И.Р. Сталебетонный элемент.

17. Серых И.Р. Прочность сталебетонного элемента с составной облойкой при внецентренном сжатии и изгибе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 442-445.

18. Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов / С.В. Клюев, А.В. Клюев, Д.М. Сопин, А.В. Нетребенко, С.А. Казлитин // Инженерно-строительный журнал. 2013. №3. С. 7 – 14.

19. Фиброармированные композиты на техногенном сырье / С.В. Клюев, А.В. Нетребенко, А.В. Дураченко, Е.К. Пикалова // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 19. №1. С. 34 – 36.

20. High strength fiber concrete for industrial and civil engineering / S.V. Klyuyev, A.V. Klyuyev, R.V. Lesovik, A.V. Netrebenko // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. №10. С. 1280 – 1285.

21. Klyuyev S.V. Fiber Concrete on Composite Knitting and Industrialsand KMA for Bent Designs / R.V. Lesovik, S.V. Klyuyev, A.V. Klyuyev, A.V. Netrebenko, N.V. Kalashnikov // World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 30 №8. С. 964 – 969.