

Клюев С.В., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФИБРОБЕТОННЫХ КОМПОЗИТОВ\*

klyuyev@ya.ru

*В статье рассмотрено влияние фибр на эксплуатационные характеристики бетона. Установлено соотношение длины и ориентации фибр. Изучен вопрос дисперсного армирования бетона, при котором наблюдается повышение упругих свойств бетона.*

**Ключевые слова:** фибробетон, фибра, цементная матрица, ориентация фибр.

В настоящее время в строительной индустрии основным строительным материалом является бетон, обладающий высокой прочностью при сжатии [1...4]. Основным недостатком его является низкая прочность при растяжении, которая составляет 10...20 % от прочности при сжатии. Все это приводит к необходимости использовать арматуру (стальную, стеклопластиковую и др.) в растянутой зоне конструкций. Кроме того, возникает необходимость использования распределительной, поперечной и монтажной арматуры, приводящее к увеличению трудоемкости изготовления изделий и конструкций. На сегодняшний день в России и в мире в целом находят свое место тонкостенные конструкции, изготовление которых является сложной задачей. Для того, что бы предать бетону упругие свойства (повысить предел прочности при растяжении и увеличить трещиностойкость), сократить использование арматуры в строительной индустрии, сделать универсальные конструкции в последние годы находят свое широкое использование дисперсное армирование [5...12].

Определение фибробетону можно дать следующим образом – это бетон, производимый из портландцемента с добавлением различных заполнителей и дисперсных волокон (фибр). В настоящее время для дисперсного армирования бетонов применяются большое количество разных видов фибр, пригодных для дисперсного армирования бетона. К основным относятся: сталь, стекло, полимеры (акрил, арамид, нейлон, полипропилен и др.), керамика, асбест, углерод и природные волокна (кокосовый орех, бамбук, дерево и др.).

Использование бетона, армированного стальными фибрами увеличилось за последние 40...45 лет. В строительном материаловедении произошло значительное развитие в области дисперсного армирования бетона различными видами фибр. Простые неармированные цементные материалы характеризуются низкой прочностью на растяжение, низкий потенциал деформации растяжения, то есть они являются хрупкими материалами. Таким образом, прежде

чем использовать такие бетоны в качестве строительных материалов, необходимо их армировать.

Исторически сложилось, что армирование происходит в виде непрерывного армирования стержнями, которые могут быть размещены в структуре в соответствующих местах, чтобы выдержать касательные и растягивающие напряжения. Фибры, с другой стороны, прерывисты и беспорядочно распределены по всей цементной матрице. Таким образом, они не столь эффективны при растягивающих напряжениях. С другой стороны, так как они расположены близко друг к другу, в отличие от простого армирования стержнями, они лучше контролируют образование трещин. Из-за этих различий существует несколько областей применения, для которых армирование фиброй лучше обычного армирования стержнями:

1. Тонкие листовые материалы, в которых невозможно использование арматурных стержней, и в которых волокна представляют собой основную арматуру. В тонких листовых материалах концентрация волокон очень высока и в основном составляет больше 5% от общего объема. В данной области применения волокна применяют для увеличения прочности и жесткости композита.

2. Части сооружения, которые должны выдерживать большие локально приложенные нагрузки или деформации, такие как туннельные прокладки, стойкие к разрушению (взрыву) сооружения или сборные сваи, забиваемые в землю.

3. Части сооружения, в которые добавляются волокна для предотвращения трещин, вызванных влажностью и колебаниями температуры, например плиты и дорожные покрытия.

В общем, армирование волокнами не заменяет стандартного армирования. Роль фибры и стальной арматуры различна, и существует множество областей, где они применяются вместе.

Несмотря на то, что определяющим фактором в использовании фибробетона является его физические свойства, стоимость играет немало-

важную роль, так как волокна являются дорогим материалом. И хотя фибробетон уже находит свое применение, его разработки находятся на начальном этапе, и в будущем он найдет гораздо большее применение, если целесообразность его использования будет доказана.

Цементные растворы, армированные фибрами применяются в качестве компонентов при производстве тонких листов, таких как целлюлоза или цемент упрочненный стекловолокном. При этом фибра является основным армирующим компонентом, ее содержание обычно варьируется от 2 до 15 % от общего объема [13...21].

В фибробетонах содержание фибры намного ниже (меньше 2 % от объема) и волокна используются 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.

Для упрочнения цементной матрицы использовался широкий диапазон фибр с различными механическими, физическими и химическими свойствами. Упрочненная фибрами матрица может принимать различную конфигурацию и при описании их природы необходимо рассмотреть два уровня геометрического описания: форму отдельных фибр и их распределение по всей цементной матрице.

Во многих случаях, при формировании дисперсно-армированных бетонов, волокна ориентированы случайным образом в двух или трех направлениях. Эффективность сочетания факторов длины и ориентации не может быть просто вычислена путем произведения их эффективностей. Это связано с тем, что фактор эффективности ориентации волокон зависит от их длины, в случае коротких фибр.

При формировании бетонной матрицы возможна их свободная ориентация или направленная ориентация волокон, в зависимости от поставленных целей. Направленная ориентация, например, стальных коротких волокон можно достичь за счет использования магнитного поля.

Произвольная ориентация реализуется, как правило, короткими волокнами, кроме того воз-

можно использовать и рулонные материалы в виде холстов и матов, в них волокна не имеют организованного переплетения. На практике в конструкциях могут реализовываться различные виды произвольной ориентации.

В дисперсно-армированных композитах, основную роль играют фибры, располагающиеся в зоне трещинообразования, в которой волокна являются связующими с бетонной матрицей. В композите с правильной ориентацией, волокна могут выполнять две основные функции в этой зоне:

1. Они могут увеличить прочность композита в зоне матрицы, путем осуществления передачи напряжений и нагрузок в местах образования трещин. Это предполагает увеличение напряженно-деформированного состояния в процессе трещинообразования и такое поведение называется деформационным упрочнением.

2. Наиболее важно то, что они увеличивают жесткость композита путем образования механизма поглощения энергии, что имеет отношение к нарушению связующих процессов волокон, связывающих трещины. Это происходит даже после увеличения напряженно-деформированного состояния после начала образования трещин.

При нагружении конструкции первая трещина, образовавшаяся в композите не приведет к катастрофическому его разрушению, но вызовет перераспределение нагрузки между бетонной матрицей и волокнами. То есть, нагрузка, действующая на зону возникновения трещин, перераспределится на волокна, и таким образом края трещин освободятся от напряжений.

Дополнительно приложенная нагрузка приведет к возникновению новых трещин, до тех пор пока матрица не разделится на несколько сегментов, разделенных друг от друга трещинами. Такой процесс известен как многочисленное растрескивание. Оно находится под приблизительно постоянным напряжением, которое соответствует напряжению, при котором возникли первые трещины.

Когда растрескивание больше невозможно и матрица разделена многочисленными параллельными трещинами, любые дополнительные растягивающие напряжения вызовут растяжение волокон. Таким образом, общее механическое поведение дисперсно-армированных композитов обычно может быть описано с точки зрения трех этапов растягивающих напряжений:

1. Упругий диапазон, до точки возникновения первой трещины. Матрица и волокна находятся на одной линии.

2. Диапазон многочисленного растрескивания, в котором деформации композита превысили максимальные деформации матрицы.

3. Диапазон, следующий за многочисленным растрескиванием, в котором волокна растягиваются или вырываются из матрицы.

Различные модели и аналитические процедуры были предложены для описания общей формы растягивающих напряжений – кривая деформаций и прогнозирования основных точек кривой: модуль упругости в упругой зоне, напряжения и деформации при возникновении первой трещины, деформации в конце зоны многочисленного растрескивания и предельные напряжения и деформации композита соответственно.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 56 – 59.
2. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Влияние сырья вулканического происхождения и режимов твердения на активность композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 52 – 55.
3. Алфимова Н.И., Жерновский И.В., Яковлев Е.А., Юракова Т.Г., Лесовик Г.А. Влияние генезиса минерального наполнителя на свойства композиционных вяжущих // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 91 – 94.
4. Алфимова Н.И., Трунов П.В., Вишневская Я.Ю., Шейченко М.С., Аслаханов А.Х. Модифицированное вяжущее // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 2. С. 30 – 33.
5. Клюев А.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Свойства бетонной матрицы при дисперсном армировании фибрами // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 16. №2. С. 96 – 99.
6. Клюев А.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Ориентация и распределение фибр в цементной матрице // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 16. №2. С. 99 – 102.
7. Клюев А.В., Клюев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 67 – 72.
8. Клюев А.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В., Пикалова Е.К. К вопросу применения техногенных песков для производства мелкозернистого фибробетона // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 19. №1. С. 32 – 34.
9. Клюев С.В., Клюев А.В., Сопин Д.М., Нетребенко А.В., Казлитин С.А. Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов // Инженерно-строительный журнал. 2013. №3. С. 7 – 14.
10. Клюев А.В. Сталефибробетон для сборно-монолитного строительства // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 60 – 63.
11. Клюев А.В. Усиление изгибаемых конструкций композитами на основе углеволокна // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 38 – 41.
12. Клюев С.В., Клюев А.В. Исследование физико-механических свойств композиционных вяжущих // Успехи современной науки. 2015. № 1. С. 21 – 24.
13. Клюев С.В., Клюев А.В. Пределы идентификации природных и инженерных систем // Фундаментальные исследования. 2007. №12. Т.2. С. 366 – 367.
14. Клюев С.В., Клюев А.В. Техногенное сырье – эффективный наполнитель для фибробетонов // Успехи современной науки. 2015. № 1. С. 33 – 35.
15. Клюев А.В., Нетребенко А.В. Армирующие материалы и их свойства для производства фибробетонов // Сборник Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2013. С. 17 – 21.
16. Клюев А.В., Нетребенко А.В. Экспериментальные исследования фибробетона для промышленного и гражданского строительства // Сборник Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2013. С. 12 – 16.
17. Клюев А.В., Пикалова Е.К. Технология усиления конструкций углеволокном // Сборник Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2013. С. 33 – 37.
18. Клюев А.В., Пикалова Е.К. Расчет усиления железобетонных колонн углеродной тканью // Сборник Международной научно-технической конференции молодых ученых

БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2013. С. 38 – 41.

19. Клюев А.В. К вопросу формирования высококачественных фибробетонных композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 6. С. 55 – 57.

20. Клюев А.В. Дисперсно-армированный мелкозернистый бетон на техногенном песке КМА для изгибаемых изделий: автореф. дис. ... к.т.н. Белгород 2012. 24 с.

21. Клюев А.В. Стальные фибры и их применение для дисперсного армирования мелко-

зернистых бетонов // Инновационные материалы технологии; сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф.: Белгород, 11-12 окт. 2011 г. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч. 1. С. 229 – 232.

*\*Работа выполнена в рамках реализации стипендии Президента Российской Федерации СП - 265.2015.1 и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012-2016 г. грант №Б-21/12.*

---

**Klyuyev S.V.**

**PECULIARITIES OF FIBER CONCRETE COMPOSITE MATERIALS FORMATION**

*The influence of fibres on the concrete performance properties is considered in the article. The length-to-orientation ratio of fibers is established.*

*The question of dispersed reinforcement of concrete at which the elastic properties of concrete increase is studied.*

**Key words:** fiber concrete, fiber, cement matrix, orientation of fibres.