

15. Талецкий, В.В. Нарушения несущих железобетонных конструкций путепроводов, вызванные хлоридной агрессией / В.В. Талецкий, А.В. Степанова // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 19-20 апреля 2012 г. В 2 ч. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2012. – Ч. 2. – С. 127

УДК 691

Е.А. Коледа, аспирант кафедры технологии строительного производства Белорусского национального технического университета, e-mail: elena_koleda@bk.ru

С.Н. Леонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии строительного производства Белорусского национального технического университета, e-mail: snleonovich@yandex.ru

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ФИБРОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИ КАК КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА

Приведены основные физико-механические характеристики сталефибробетона и влияние на них параметров фибрового армирования. Рассмотрены принципиальные способы, на основе которых уже созданы или могут быть созданы приборы для контроля показателей сталефибробетона в конструкциях на строительной площадке.

Ключевые слова: фибробетон, прочность, неразрушающий контроль качества.

The main physical and mechanical characteristics of fibro-reinforced concrete and the effects of fiber reinforcement parameters. Considered fundamental ways, on the basis of which has already been or may be established instruments for indicators of fibro-reinforced concrete in the construction of a building site.

Keywords: fibro-reinforced concrete, strength, non-destructive quality control.

Сталефибробетон достаточно известный и давно применяемый материал. Бетон является хрупким материалом. Благодаря добавлению в бетон путем подмешивания стальной фибры резко улучшаются его физико-

механические характеристики и появляется ряд преимуществ в сравнении с обычным бетоном: повышает прочность бетона на изгиб; уменьшается время на монтаж арматуры; увеличивается вибрационная стойкость бетона; не препятствует образованию микротрещин, но хорошо удерживает трещины от расширения и перерастания микротрещин в макротрещины; можно уменьшить толщину конструкции при сохранении несущей способности и др.

Фибровое армирование качественно изменяет свойства бетонных материалов. Физико-механические свойства сталефибробетона (СФБ) зависят от ряда параметров фибрового армирования, технологии производства и структуры бетонной матрицы.

Разные исследователи при определении физико-механических характеристик сталефибробетона, в зависимости от условий экспериментов,

получали различные результаты. Попробуем изложить некоторые обобщенные краткие данные (рисунок 1).

Прочность материала – это максимальный уровень напряжений, который может выдержать материал без существенных изменений в своей структуре при ожидаемых условиях работы. Прочностные характеристики сталефибробетона зависят от класса исходного бетона – матрицы, параметров фибрового армирования, характера поверхности фибры, её геометрии и размеров сечения элемента и их соотношения.

Прочность сталефибробетона при сжатии растет прямо пропорционален классу бетона – матрицы, увеличению содержания фибры, уменьшению относительной длины и практически не зависит от их диаметра. Является контрольной характеристикой при проектировании сталефибробетонных конструкций.



Рис. 1. Взаимосвязь между параметрами и физико-механическими свойствами сталефибробетона

Влияние объёмного содержания стальной фибры на сопротивление сжатию цементного камня при исследуемых цементно-водных отношениях увеличивается в разной степени от 8 до 23% при увеличении содержания фибры до 3%. В научных исследованиях Блещика Н.П. предложено принять увеличение сопротивления сжатию цементного камня по 5% на каждый процент увеличения содержания фибры.

Прочность при растяжении является одной из определяющих характеристик сталефибробетона. Она растёт прямо пропорционально увеличению содержания фибры и их длины, а также при увеличении прочности сцепления фибры с матрицей.

Прочность на растяжение при изгибе является одним из важных показателей СФБ, который зависит от содержания фибры и её длины, прочности её сцепления с бетонной матрицей, класса бетонной матрицы и превышает прочность исходного бетона в 3,5–5 раз.

Прочность на растяжение при изгибе цементного камня с цементно-водным отношением более 3,2 существенно возрастает до объёмного содержания фибры, равного 1%. Дальнейшее увеличение содержания фибры с 1% до 3%, т.е. в три раза, увеличивает прочность на растяжение при изгибе лишь на 17–20%.

Согласно литературным источникам, показания прочности при изгибе

и жесткость, когда направление приложения нагрузки перпендикулярно направлению распределения волокон, ниже получаемых при приложении нагрузки параллельно направлению распределения волокон.

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. 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.

Динамическая прочность при сжатии (призмная) возрастает с увеличением объёмного содержания фибры и уменьшением их относительной длины (на 35% выше прочности исходного бетона).

В литературных источниках проведены испытания фибробетона на сжатие, растяжение при раскалывании и ударную вязкость с помощью методики Кольского и ее модификаций. В результате анализа опытных данных было установлено, что динамическая прочность и способность образца деформироваться при сжатии увеличивается с ростом скорости деформации. При раскалывании

значения максимальных растягивающих напряжений при частичных повреждениях и полном разрушении образца практически не изменяются.

Показателем деформативности СФБ является модуль деформации – непостоянная величина и существенно зависящая от стадийности работы. Начальный модуль упругости СФБ зависит как от соответствующего показателя исходного бетона, так и от коэффициента фибрового армирования.

Характеризуя объемные деформации усадки можно отметить, что фибра сдерживает деформации усадки бетона в СФБ и способствует их более равномерному протеканию.

Для сталефибробетона характерна высокая трещиностойкость, которая зависит не только от объемного содержания фибры, но и от дисперсности армирования. Чем более однородна бетонная матрица и, чем выше уровень дисперсности армирования, тем выше, при прочих равных условиях, предел трещиностойкости СФБ, который до 20-ти раз может превышать трещиностойкость исходного бетона.

Долговечность материала определяются такими его свойствами как, морозостойкость, коррозионная стойкость, водонепроницаемость и, косвенно, трещиностойкость.

Водонепроницаемость СФБ, как другие его гидрофизические свойства, зависит от структуры мате-

риала, прямо пропорциональна дисперсности фибрового армирования и содержанию фибры в объеме материала конструкции.

Коррозионная и фильтрационная стойкость СФБ определяются количеством фибровой арматуры и структурой порового пространства материала. Матрица сталефибробетона обладает повышенными защитными свойствами по отношению к волокнам. Экспериментально доказано, что в СФБ образуются капилляры с размером не более 0,01 мм, а это делает его влагонепроницаемым, а значит и обладающим высокой коррозионной стойкостью, превышающей почти в 2 раза коррозионную стойкость исходного бетона.

Теплофизические свойства СФБ (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость) в общем случае зависят от объемного содержания фибры и влажности материала.

Сталефибробетон является более огнестойким материалом, чем сталь и железобетон, так как при температурах пожара он практически сохраняет на нормативный срок свои прочностные и деформативные свойства. СФБ с фибрами из низкоуглеродистой стали выдерживает нагрев, без снижения прочности, до температуры 450–537°C; с фибрами из нержавеющей стали до температуры 1590–1595°C.

Исследования СФБ на истираемость свидетельствуют о структур-

ном улучшении этого материала в сравнении с неармированным бетоном. Показатель истираемости улучшается, в среднем, в 2 раза в сравнении с неармированным бетоном и фибры истираются совместно с бетонной матрицей.

Кавитационная стойкость – это специфическое свойство СФБ, которое выделяет его из всех известных материалов. Эта характеристика в 2.5 раза выше, чем у неармированного или армированного другими способами бетона. Особенно она повышается при армировании стальными фибрами полимербетона.

Увеличение содержания фибры значительно снижает показатели подвижности бетонной смеси. Так же влияет и способ приготовления (последовательность введения составляющих). Отмечено, что наибольшее снижение подвижности наблюдается при одновременном перемешивании всех компонентов смеси. И напротив, наименьшее – при введении фибры после перемешивания всех остальных компонентов.

Существенное влияние на удобоукладываемость бетонной смеси оказывают объемное содержание фибры, ее диаметр и вид (удельная поверхность фибры в объеме бетонной смеси), крупность заполнителя. Продолжительность вибрирования должна сокращаться с увеличением показателей удобоукладываемости

бетонной смеси. Сохраняемость показателей удобоукладываемости сталефибробетонных смесей обуславливается теми же факторами, которые определяют сохраняемость обычных бетонных смесей.

Рост во времени деформаций усадки цементно-песчаной матрицы и сталефибробетонов на ее основе носит экспоненциальный характер. При этом деформации усадки сталефибробетонов в зависимости от вида фибры и процента армирования могут быть как равны деформациям усадки матрицы, так и быть больше или меньше их. Нормативные значения деформаций усадки сталефибробетонов зависят от процента армирования по объему и вида фибры, в том числе от диаметра и длины волокон. С ростом процента армирования до 1,5 % деформации усадки изменяются неоднозначно, а характер этого изменения зависит от вида фибры. При увеличении процента армирования от 1,5 до 6 % нормативные значения деформаций усадки при больших диаметрах (0,8...1,2 мм) и большой длине (3,2...40 мм) волокон практически не изменяются, а при малом диаметре (0,3 мм) и длине (15 мм) – уменьшаются по линейному закону.

Анализируя вышеизложенный материал, можно приведенные параметры сталефибробетона расположить в порядке убывания в зависимости от количества физико-

механических свойств, на которые они оказывают влияние: вид фибры, объемное содержание фибры, класс бетона матрицы, дисперсность армирования, прочность сцепления фибры с матрицей, ориентация фибры, цементно-водное соотношение, крупность заполнителя, способ приготовления и др. Однако стоит заметить, что немаловажно оценивать параметры с учетом преимущественных свойств фибробетона: прочность на растяжение при изгибе, деформативность, трещиностойкость и т.д.

Для дисперсного армирования используют различные виды фибры, различающихся между собой длиной, типом сечения, покрытием, формой и т.д. От этих характеристик фибры будет зависеть подвижность бетонной смеси, сцепление фибр между собой, которое негативно сказывается на дисперсности и сцепления с бетоном-матрицей, возникает образование ежей и наоборот участков бетона без фибр. Дисперсное армирование может осуществляться одним видом фибр или смесью различных фибр.

Тип вибрирования и направление распределения может оказать существенное влияние на прочность. Максимальный эффект оказывают стальные волокна, расположенные параллельно направлению действия нагрузки – то есть в направлении растягивающего напряжения – и соответственно пересекающие трещи-

ны. В случае отклонения от этого направления эффективность волокон уменьшается. 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. Этот эффект сильнее у текучих смесей, так как наблюдается большее оседание фибр во время распределения. Волокна располагаются преимущественно перпендикулярно по отношению к направлению уплотнения.

С повышением концентрации фибры разброс полученных значений увеличивается, что говорит о возрастающей неравномерности распределения фибры в образцах. При увеличении концентрации фибры в бетонной смеси (что может быть необходимо при применении только фибрового армирования конструкции и исключении стержневого армирования) необходимо предусматривать мероприятия по обеспечению равномерности распределения фибры в конструкции.

В наибольшей степени уязвимым местом сталефибробетона является контролирование его качественных показателей. В первую очередь это касается контроля качества бетонной смеси и контроля прочностных характеристик монолитного бетона

конструкций. Если контроль качества бетонной смеси можно осуществлять методами используемыми для обычного бетона, то определить такие показатели как дисперсность, ориентирование, объемное содержание фибры в уже готовой конструкции на строительной площадке пока весьма затруднено.

Контроль распределения фибр может осуществляться разрушающим способом при испытании кубов, вырезанных из нескольких мест сталефибробетона. Такой метод достаточно трудоемок, требует много времени и не дает информации о распределении фибр во всем изделии. Обычно в лабораторию доставляют керны с неправильными основаниями, поэтому перед испытаниями на сжатие их необходимо выровнять, залить цементным раствором и подшлифовать. Подготовленные цилиндры испытывают на сжатие на гидравлическом прессе.

Однако этот метод нельзя применять для испытания бетона некоторых сборных железобетонных конструкций из-за малой толщины и высокого процента армирования. Такие конструкции надо испытывать неразрушающими методами.

Рассмотрим принципиальные способы, на основе которых могут быть созданы приборы для контроля показателей фибробетона.

Радиоволновой способ на первый взгляд, кажется эффективным, так

как сталефибробетон, подобно металлическим сеткам, должен сильно отражать радиоволны. Однако исследования показали, что сталефибробетон с наиболее широко применяемыми параметрами армирования не является материалом, сильно отражающим и поглощающим радиоволны вплоть до сантиметрового диапазона, и поэтому может применяться в сооружениях, где существует необходимость поддержки устойчивой радиосвязи или работы электронного оборудования.

Согласно исследованиям Дорфа В.А., скорость распространения ультразвука в сталефибробетоне с цементно-песчаной матрицей при погрешности измерения два и более процента не зависит от вида фибры и ее объемного содержания (до 6%). Влияние фибры на скорость ультразвука в сталефибробетоне связано с разуплотнением матрицы при малых процентах армирования и ростом его плотности, пропорционально проценту армирования. При оценке характера распространения ультразвука в сталефибробетоне при малых процентах армирования можно рассматривать модель в виде матрицы с микротрещинами, пересеченными отдельными волокнами фибры (рисунок 2).

Контроль качества сталефибробетона с применением ультразвука целесообразен для оценки прочности матрицы и степени ее уплотнения.

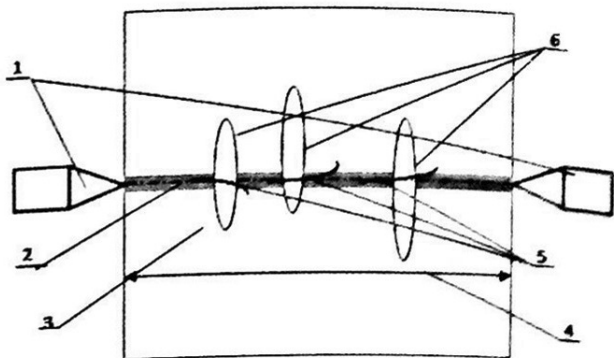


Рис. 2. Схема микротрещин в сталефибробетоне:

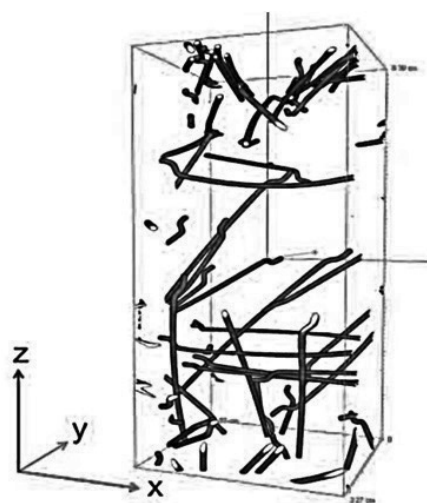
- 1 – ультразвуковой преобразователь;
- 2 – ультразвуковой сигнал;
- 3 – образец;
- 4 – база измерения;
- 5 – волокна фибры;
- 6 – микротрещины

В рамках совместного научно-исследовательского проекта, Технический университет Кайзерслаутерна и Институт технической и экономической математики общества Фраунгофера ITWM доказали, что компьютерная томография (КТ) в сочетании с современным программным обеспечением для обработки и анализа изо-

бражений подходит для определения пространственной ориентации и распределения фибры в фибробетоне. Компьютерная томография позволяет распознавать и анализировать особенности ориентации и распределения фибры по всему объему фибробетона или бетона с тканевым армированием.

Трехмерная компьютерная томография основана на реконструкции объекта при помощи рентгеновских снимков, которые делаются в различных направлениях с использованием рентгеновского излучения. КТ-анализ позволяет точно описать распределение и положение фибры на образцах готовых элементов (рисунок 3).

Эта методика дает значительные преимущества с точки зрения контроля качества и выявления дефектов. Однако данный метод позволяет определять показатели фибробетона только в образцах: предваритель-



а



б

Рис. 3. КТ-анализ: а) система фибры (визуализация); б) трехмерный снимок КТ

но изготовленных или взятых (выбуренных) из тела уже существующей конструкции. В построечных условиях или в уже эксплуатируемых конструкциях нельзя произвести анализ фибробетона без местного разрушения, в виду того, что пока не существует мобильных и безопасных приборов, которые бы позволяли осуществлять контроль качества на производственном участке. Этот способ наиболее пригоден в случае возможности расположения источников и датчиков излучения с обеих сторон изделия, что не всегда возможно. Кроме того такая установка будет требовать усиленных мер безопасности, дорога и некомпактна, неприменима в случае больших коэффициентов армирования и значительной толщины изделия.

Неразрушающий контроль можно осуществить, используя магнитные свойства сталефибробетона. В основе метода, разработанного и запатентованного Матусом Евгением Петровичем доцентом Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета, лежит измерение параметров переменного тока через тонкую катушку индуктивности, настроенную в резонанс с генератором и последовательно включенной емкостью в отсутствие сталефибробетона вблизи поверхности катушки. При наложении катушки на поверхность сталефибробетона

значения тока меняется в зависимости от параметров армирования. Это позволяет контролировать равномерность распределения фибр в изделиях из сталефибробетона толщиной от 20 до 30 мм. Минимально фиксируемый расход фибры при ее равномерном распределении в затвердевшем изделии должен составлять 20кг/м^3 , максимальный – 480кг/м^3 .

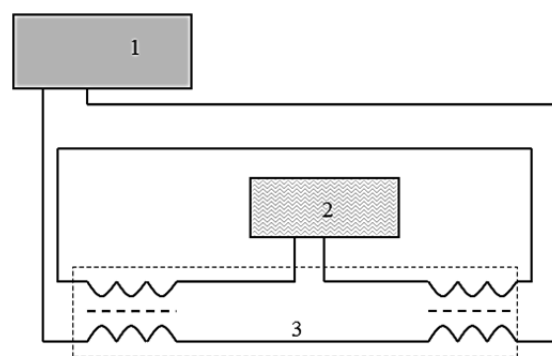


Рис. 4. Схема установки
1 – генератор, 2 – вольтметр,
3 – датчик

Предлагаемый способ позволяет установить коэффициент армирования в области непосредственно под датчиком при равномерном распределении известного вида фибр для их хаотичной и плоскостной ориентации (что обычно реализуется при укладке фибр в формы небольшой толщины).

На измерения влияет распределение фибр по высоте образца. Однако точный вид этого распределения с помощью описываемого способа определить невозможно. Возможно только оценить расслоение фибр по разности показаний при измерении

сверху и снизу образца. Определить значение коэффициента ориентации можно только на образцах небольшого размера, вырезанных из изделия или отформованным вместе с изделием.

Наиболее близким аналогом изобретения является способ контроля распределения стальных фибр с помощью измерителя защитного слоя арматуры в бетоне. Различными исследователями предпринимались попытки использования измерителя защитного слоя (ИЗС) арматуры в бетоне для неразрушающего контроля распределения фибры. Однако авторы этих работ пришли к заключению, что показания прибора сильно зависят не только от концентрации фибры, но и от множества других факторов. Так прибор обладает невысокой чувствительностью к фибровой арматуре и его показания сильно зависят от диаметра фибры. Частота работы прибора и форма датчика, адаптированных к обычной арматуре, неприменимы к дисперсной.

Список литературы:

1. *Блещик, Н.П.* Физико-механические и технологические свойства сталефибробетона, особенности применения и перспективы развития сталефибробетонных конструкций / Н.П. Блещик, И.В. Коваль // Третий международный симпозиум «Проблемы современного бетона и железобетона» 9-11.11.2011 г.

2. *Брагов, А.М.* Исследование механи-

ческих свойств фибробетона с помощью методики кольского и ее модификаций / А.М. Брагов, Б. Карихалоо, А.Ю. Константинов, Д.А. Ламзин, А.К. Ломунов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского – 2011. № 4(1). С. 123–129

3. *Брайтенбюхер, Р.* Процесс производства и свойства сталефибробетона / Р. Брайтенбюхер // Бетон и железобетон 2012 – №2 (7) стр.93-97

4. *Дорф, В.А.* Скорость распространения ультразвука в сталефибробетонах с цементно-песчаной матрицей / В.А. Дорф, Р.О. Красновский // Бетон и железобетон. – 2014. – №3. С. 5-8

5. *Зерцалов, М.Г.* Экспериментальное определение характеристик трещиностойкости фибробетона / М.Г. Зерцалов, Е.А. Хотеев // Вестник МГСУ. 2014. № 5. С. 91–99

6. *Клюев, А.В.* Ориентация и распределение фибр в цементной матрице / А.В. Клюев, А.В. Нетребенко, А.В. Дураченко; Сборник научных трудов Sworld – 2014 г.

7. *Красновский, Р. О.* Зависимость усадки сталефибробетона с цементно-песчаной матрицей от типа фибры и процента армирования / Р. О. Красновский, Д. Е. Капустин, К. В. Рогачев // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 4(29). www.vestnik.vgasu.ru

8. *Матус, Е.П.* Взаимодействие сталефибробетона с радиоволнами / Е. П. Матус // Известия вузов. Строительство. 2009. № 1112. С. 97-100

9. *Матус, Е.П.* Контроль распределения фибр в сталефибробетоне с помощью

прибора ИЗС-10Н / Е.П. Матус // Науч. Тр. Общества железобетонщиков Сибири и Урала. – Вып. 8. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2004. – с.128-131.

10. Матус, Е.П. Неразрушающий контроль распределения фибр в сталефибробетоне / Е. П. Матус, Л. В. Глазкова // Известия вузов. Строительство. 2007. № 10. С. 110-113.

11. Матус, Е.П. Прохождение радиоволн через сталефибробетон / Е.П. Матус // Тр. 13-го международного семинара АТАМ. – Т.1. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). 2006. – с. 140-142.

12. Сергеев, В.А. Контроль распределения стальных фибр прибором ИЗС: Применение фибробетона в строительстве / В.А. Сергеев, О.Н. Хегай. – Л.: Знание, 1985. – 63 с.

13. Хегай, О.Н. Магнитный метод контроля степени опускания фибр в производстве сталефибробетонных конструкций / О.Н. Хегай // Технологии и долговечность дисперсно-армированных бетонов. – Л., 1984. – 105 с.

14. Шнелль, Ю. Возможности применения компьютерной томографии в исследовании сталефибробетона / Юрген Шнелль, Фран Шулер, Вольфганг Брайт, Рональд Рёш // Технологии бетонов. – 2013 № 4 – с. 40-47

С.К. Газарьянц, к. архит., член-корр. ЖКА.,
действительный член социологической ассоциацией России,
действительный член географического общества России,
эксперт по проблемам среды обитания, доц.,
Московский Государственный Университет Машиностроения,
кафедра Промышленное и гражданское строительство
e-mail: Samvel.g@list.ru

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Предлагаемая статья рассматривает социально-экологические проблемы архитектуры, сложившиеся в течении десятилетий. Интенсивная добыча и разработка полезных ископаемых, испытание различных видов вооружений, привели к ухудшению всего биоценоза Арктической зоны. В настоящее время, благодаря комплексному подходу различных экологических, социально-демографических структур, ситуация значительно улучшилась.

Ключевые слова: биоценоз, Арктика, социальная демография.

This article considers the social and environmental problems of architecture, developed over decades. Intensive mining and mining, testing different types of weapons, has led