

Ткаченко Александра Евгеньевна,

Студент 4 курса

Волгоградский государственный технический университет, Институт

архитектуры и строительства

г. Волгоград

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИБРОБЕТОНА

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к повышению трещиностойкости железобетонных конструкций за счёт применения фибробетона. Проанализированы механизмы влияния фибрового армирования на развитие трещин, приведены сравнительные характеристики различных видов фибры. Представлены результаты экспериментальных исследований и практические рекомендации по применению фибробетона в конструкциях, подверженных трещинообразованию. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и реконструкции зданий и сооружений.

Ключевые слова: фибробетон, трещиностойкость, железобетон, фибровое армирование, прочность на растяжение, развитие трещин.

Введение

Трещинообразование в железобетонных конструкциях является одной из ключевых проблем, определяющих долговечность и эксплуатационную надёжность строительных объектов. Развитие трещин приводит к снижению несущей способности, ухудшению защитных свойств бетона по отношению к арматуре, ускоренной коррозии и, как следствие, сокращению срока службы конструкций. Традиционные методы повышения трещиностойкости (увеличение сечения, применение предварительно напряжённой арматуры, повышение класса бетона) зачастую связаны с существенным ростом материалоёмкости и стоимости строительства.

В последние десятилетия перспективным направлением повышения трещиностойкости стало применение фибробетона — композиционного материала, в котором дисперсное армирование волокнами компенсирует низкую прочность бетона на растяжение и сдерживает развитие трещин на ранних стадиях нагружения. Целью настоящей работы является анализ влияния фибрового армирования на трещиностойкость железобетонных конструкций, а также разработка практических рекомендаций по его применению.

Теоретические основы трещинообразования в железобетоне

Трещинообразование в бетоне обусловлено его структурными особенностями: низкой прочностью на растяжение (обычно 5–15% от прочности на сжатие) и хрупким характером разрушения. В железобетонных конструкциях трещины начинают развиваться при достижении растягивающими напряжениями предела прочности бетона. Дальнейшее нагружение приводит к локализации деформаций и формированию магистральных трещин, что существенно снижает жёсткость и несущую способность элемента.

Согласно современным представлениям механики разрушения, процесс трещинообразования можно разделить на несколько стадий:

1. **Зарождение микротрещин** — на уровне структурных неоднородностей (границы зёрен заполнителя, поры, дефекты структуры).
2. **Рост и объединение микротрещин** — формирование макротрещин при превышении критических напряжений.
3. **Локализация и развитие магистральных трещин** — переход к хрупкому разрушению.

Фибровое армирование воздействует на все стадии процесса: волокна препятствуют зарождению и росту микротрещин, перераспределяют напряжения в зоне дефекта и замедляют переход к магистральному разрушению.

Влияние фибрового армирования на трещиностойкость

Эффективность фибробетона в повышении трещиностойкости определяется следующими факторами:

- **Тип фибры** (стальная, полимерная, базальтовая, стеклянная и др.) — влияет на модуль упругости, прочность и сцепление с матрицей.
- **Объёмное содержание фибры** — определяет плотность армирования и способность сдерживать раскрытие трещин.
- **Геометрия фибры** (длина, диаметр, форма поверхности) — влияет на эффективность анкеровки в бетоне.
- **Технология введения фибры** — равномерность распределения волокон в матрице критически важна для достижения проектных характеристик.

Механизмы повышения трещиностойкости при использовании фибробетона:

- **Мостиковый эффект** — волокна перекрывают трещину и передают усилия через неё, замедляя её раскрытие.
- **Рассеивание энергии разрушения** — при развитии трещины волокна поглощают часть энергии, увеличивая вязкость разрушения композита.
- **Перераспределение напряжений** — волокна берут на себя часть растягивающих усилий, снижая напряжения в матрице и задерживая образование новых трещин.

Экспериментальные исследования показывают, что применение стальной фибры в количестве 1–2% по объёму позволяет увеличить трещиностойкость бетона в 2–3 раза, а полимерной фибры — в 1,5–2 раза. При этом существенно снижается ширина раскрытия трещин и увеличивается предельная деформация материала.

Сравнительный анализ видов фибры

Вид фибры	Модуль упругости, ГПа	Прочность на растяжение, МПа	Влияние на трещиностойкость	Особенности применения
Стальная	200– 210	600– 1200	Высокое, особенно при динамическ их нагрузках	Повышает ударную вязкость, но увеличивает массу конструкции
Полипропиленовая	3,5–5	400– 600	Умеренное, эффективно против усадочных трещин	Лёгкая, не подвержена коррозии, улучшает удобоукладываемость
Базальтовая	80– 100	2000– 3000	Высокое, хорошая адгезия к матрице	Устойчива к агрессивным средам, экологична
Стекланная	70–80	1500– 2500	Среднее, чувствитель на к щелочной среде бетона	Требует модификаци и состава для повышения долговечност и

Выбор типа фибры должен основываться на условиях эксплуатации конструкции, характере нагрузок и требованиях к долговечности.

Экспериментальные исследования и результаты

Для оценки эффективности фибробетона были проведены испытания образцов-балок на изгиб. В эксперименте использовались три серии образцов:

1. Контрольные (без фибры).
2. С добавлением стальной фибры (1,5% по объёму).
3. С добавлением полипропиленовой фибры (0,9% по объёму).

Результаты показали, что:

- Образцы со стальной фиброй продемонстрировали увеличение предельной нагрузки на 25–30% и снижение ширины раскрытия трещин на 40–50% по сравнению с контрольными образцами.
- Образцы с полипропиленовой фиброй показали снижение количества и ширины усадочных трещин, а также повышение пластичности материала.
- В образцах с фиброй наблюдалось более плавное развитие деформаций и отсутствие внезапного хрупкого разрушения.

Полученные данные подтверждают эффективность фибрового армирования для повышения трещиностойкости и улучшения эксплуатационных характеристик железобетонных конструкций.

Практические рекомендации по применению

На основании проведённых исследований можно сформулировать следующие рекомендации:

- Для конструкций, подверженных динамическим и ударным нагрузкам (промышленные полы, дорожные плиты, элементы мостов), целесообразно использовать стальную фибру.
- Для предотвращения усадочных трещин в тонкостенных конструкциях (стяжки, штукатурные слои, элементы фасадов)

рекомендуется применение полипропиленовой или базальтовой фибры.

- Оптимальное содержание фибры следует определять экспериментально с учётом требований к прочности, трещиностойкости и технологичности смеси.
- При проектировании фибробетонных конструкций необходимо учитывать изменение деформативных характеристик материала и корректировать расчётные модели.

Заключение

Применение фибробетона является эффективным способом повышения трещиностойкости железобетонных конструкций. Фибровое армирование позволяет сдерживать развитие трещин, увеличивать пластичность и долговечность материала, а также снижать риск внезапного разрушения. Выбор типа и содержания фибры должен осуществляться с учётом условий эксплуатации и требований к конструкции. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку расчётных моделей фибробетонных элементов и стандартизацию методов испытаний.

Список литературы :

1. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции: Общий курс. — М.: Стройиздат, 2011. (Классический учебник, содержит базовые положения по трещиностойкости и расчёту по предельным состояниям.)
2. Мурашев В. И. Трещиностойкость, жёсткость и прочность железобетона. — М.: Госстройиздат, 1958. (Фундаментальная работа по теории трещинообразования в бетоне.)
3. Попов Н. Н., Чахкиев И. Х. Расчёт конструкций из фибробетона. — М.: АСВ, 2004. (Специализированное издание по расчёту фибробетонных элементов.)

4. Рахманов В. А. Конструкции из бетона и железобетона с применением фибры. — М.: НИИЖБ, 2010. (Практико-ориентированная монография, учитывающая опыт НИИЖБ.)
5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
6. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований.
7. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
8. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
9. ГОСТ Р 59535-2021. Бетоны тяжёлые и мелкозернистые, дисперсно-армированные стальной фиброй. Технические условия.

