УДК 691

Кузнецов М.С.
кандидат технических наук,
доцент департамента технологического образования
Уральский федеральный университет,
Нижнетагильский технологический институт (филиал) УрФУ
Россия, г. Нижний Тагил

К ВОПРОСУ О СЦЕПЛЕНИИ СТАЛЬНОЙ ФИБРЫ С БЕТОНОМ

Аннотация. *Автор рассматривает проблему сцепления стальной фибры с бетонной матрицей, анализируя ее влияние на сущностные качества сталефибробетона. Анализируя процесс адгезии, автор выделяет этапы взаимодействия стальной фибры с бетоном, отмечая возможные нарушения этого процесса.*

Abstract. *The author examines the problem of adhesion of steel fiber to a concrete matrix, analyzing its influence on the essential qualities of steel fiber concrete. Analyzing the adhesion process, the author identifies the stages of interaction of steel fiber with concrete, noting possible violations of this process.*

Ключевые слова: *сталефибробетон, стальная фибра, сцепление фибры с бетоном, прочностные свойства, адгезия.*

Key words: *steel fiber concrete, steel fiber, fiber-concrete adhesion, strength properties, adhesion.*

Фибробетон становится одним из популярных материалов в строительной сфере последних десятилетий. Анализ характеристик традиционного бетона и стремление их улучшить за счет добавления в бетонную матрицу фибры (стальной, полипропиленовой, гибридной) приводят к появлению улучшенных версий традиционного бетона. Возможности

использования фибробетона в различных сферах, условиях доказано рядом исследований [1]. Включение в бетонную смесь стальной фибры позволяет повысить прочность бетона, его долговечность и трещиностойкость [2]. Сцепление фибр с бетоном – один из важнейших факторов, определяющих прочностные свойства сталефибробетонных конструкций.

Воспринимаемые сталефибробетоном растягивающие напряжения даже после достижения его матрицей предела прочности на растяжение не падают до нуля, что существенно отличает сталефибробетон от обычного бетона. Несущая способность сталефибробетона в этом случае объясняется тем, что пересекающие трещину стальные волокна продолжают воспринимать действующие на сталефибробетон усилия через силы сцепления по контакту «волокно-матрица». При этом степень воспринимаемой такими фибрами нагрузки определяется с одной стороны их прочностью на растяжение, а с другой – их прочностью сцепления с бетоном [3].

Сцепление фибр с бетоном происходит за счет адгезии, трения и механического зацепления поверхностей контакта системы «волокно-матрица». На первом этапе восприятия фиброй нагрузки, приложенной к сталефибробетону, передача усилий от бетона к фибре происходит в основном за счет адгезии (склеивания) [4]. Это так называемое неподвижное упругое сцепление. На втором этапе к силам адгезии присоединяются силы смятия и среза. При этом взаимному перемещению фибры с бетоном препятствуют форма волокна и неровности на его поверхности. Данный этап характерен для волокон с развитой боковой поверхностью (наличие насечек, вмятин, волн и т.д.). У гладких фибр этот этап работы волокна менее выражен. Третий этап – этап пластического сцепления, характеризуется появлением на границе раздела «бетон-фибра» сил трения, препятствующих выдергиванию фибры из бетона. Этот этап продолжается до тех пор, пока максимальные напряжения сцепления не достигнут конца волокна. После этого увеличение выдергивающей силы прекращается, и волокно начинает вытягиваться из

бетона. При этом за счет постепенного уменьшения длины заделки волокна происходит уменьшение силы его выдергивания.

Нарушение сцепления фибры с бетоном происходит в граничной (контактной) зоне цементного камня. Размер контактных зон вблизи дисперсной арматуры составляет в среднем 300 мкм, в то время как вблизи поверхности заполнителя – 50-60 мкм. Увеличение контактной зоны вокруг фибры объясняется ее малым диаметром и наличием вокруг нее молекулярного силового поля, способствующих объединению контактных зон цементного камня, находящихся вблизи поверхности заполнителя. Однако авторы расходятся во мнении относительно прочности контактных зон вокруг фибры. Современные исследования показывают, что введение в сталефибробетон различных добавок (например, пластифицирующих) может оказывать влияние на прочность контактных зон.

Таким образом, принимая во внимание большое значение надежного сцепления фибры с бетоном и нерешенность ряда вопросов сцепления, возникает необходимость проведения экспериментально-теоретических исследований для определения качественных и количественных характеристик прочности сцепления.

Анализ результатов исследований совместной работы фибр разных типов с цементным камнем одной и той же прочности показывает, что при вытягивании они ведут себя по-разному и на прочность сцепления существенное влияние оказывает качество боковой поверхности фибры [5]. Так все фибры с прямолинейной осью вытянулись из матрицы при нагрузках, составляющих 20-80% от величины временного сопротивления материала фибры растяжению. Причем при одинаковой длине заделки фибры в матрицу коэффициент использования материала для гладких фибр в четыре раза меньше, чем у фибр из ленты, имеющих сложную форму поперечного сечения и шероховатую боковую поверхность.

Таким образом, применение в качестве армирующих волокон фибр с прямолинейной осью не позволяет одновременно обеспечить предъявляемые к ним прочностные и технологические требования, что вызывает необходимость применения анкеров, искривления оси и других мероприятий по повышению качества сцепления. Применение анкеров позволяет существенно улучшить условия совместной работы фибры с матрицей. Так, анкера у фибр Dramix увеличивают коэффициент использования материала более, чем в 3 раза (с 20 до 64%), а анкера у фибр Harex– в 1,9 раза (с 43 до 82%) . Однако, несмотря на столь существенное повышение воспринимаемой фибрами нагрузки, они вытягиваются из матрицы.

Искривленная по пологой винтовой линии геометрическая ось фибры позволяет довести коэффициент использования материала до 100%. Этот эффект можно объяснить тем, что фибра при вытягивании из матрицы заклинивается подобно резьбовому соединению «болт-гайка» и тем самым обеспечивается восприятие поверхностью фибры значительных по величине касательных напряжений.

Проблема сцепления стальной фибры с бетонной матрицей является одной из ключевых в вопросе исследования сталефибробетона и его существенных характеристик [6]. Именно от сцепления зависят прочность, долговечность конструкции.

Библиографический список

1. Трофимов, В. И. Использование фибры повышенного сцепления в бетонах для транспортного строительства / Саморазвивающаяся среда технического университета : Материалы Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х частях, Тверь, 10.02.2017. Ч. 1. Тверь: Тверской государственный технический университет. 2017. С. 213-218.

2. Кузнецов, М. С. Анализ использования сталефибробетонных труб / М. С. Кузнецов // Интернаука. 2025. № 22-1(386). С. 5-6.

3. Пухаренко Ю.В., Морозов В. И., Пантелеев Д. А., Жаворонков М. И. Определение прочности сцепления армирующих волокон с матрицей в фибробетоне / Строительные материалы. 2020. № 3. С. 39-43.DOI: 10.31659/0585-430X-2020-779-3-39-43

4. Высоцкий, Д.Е., Николенко С.Д., Бурак Е.Э. Влияние характеристик фибр на прочность сталефибробетона / Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2025. № 2(33). С. 31-38. DOI 10.36622/2541-9110.2025.33.2.003.

5. Klyuev S. V., Klyuev A. V., Abakarov A. D. The effect of particulate reinforcement on strength and deformation characteristics of fine-grained concrete / Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 7(75). P. 66-75. – DOI 10.18720/MCE.75.6.

6. Матюшин, Е. В., Соловьев В.Г. Влияние заполнителя на прочность сцепления стальной волновой фибры с сверхвысокопрочным бетоном / Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2025. № 4. С. 8-26. DOI 10.34031/2071-7318-2025-10-4-8-26.