

## **АРМИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ФИБРОЙ С МИКРОРЕЛЬЕФНОЙ СТРУКТУРОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**Зарапин В.Г.**, канд. техн. наук, доц.  
*Белорусский государственный технологический  
университет, г. Минск, Республика Беларусь*

Армирование строительных материалов на основе цемента фибрами, дисперсно распределенными в объеме, является одним из перспективных способов улучшения их качества, поскольку дополнение состава крепкими волокнами делает исходный материал прочнее. Введение фибр позволяет формировать композиции на основе цементной матрицы с улучшенными прочностными показателями, материалы, в частности, армированные фибрами бетоны по своим свойствам значительно превосходят качественные характеристики обычных бетонов [1].

Строительные фиброматериалы применяют в различных областях, и каждая из них предъявляет свои требования по механическим и реологическим свойствам. Не смотря на большие объемы производства стальных фибр, определенные сложности максимального использования их возможностей продолжают сохраняться. Одной из основных является проблема анкеровки фибр, что подтверждается большим количеством патентных разработок в последнее десятилетие, направленных на ее улучшение. Способов улучшения анкеровки фибры в бетоне существует достаточно много, большинство из которых защищено патентами. Например, фибры в виде плоского протяженного основания со сквозной перфорацией и анкерами из кристаллитов металла [2], в виде отрезка проволоки с равномерно деформированными участками, имеющими выступы и впадины в форме волны в трехмерном измерении [3], в виде проволочного тора эллипсоидного или сферического профиля с выпусками-анкерами в виде усов [4], в виде винтообразного криволинейного отрезка проволоки [5], в виде отрезка нити с анкерами на концах, состоящего из двух ветвей с общим анкером [6], в виде равностороннего треугольника [7] и др. Такие фибры имеют ряд недостатков, например, сложность изготовления вследствие их сложной конфигурации, а из-за развитости формы, склонны к комкованию с образованием «ежей», что препятствует их равномерному распределению в смеси, и формированию областей с повышенным и пониженным содержанием фибры.

Задачей данных исследований является улучшение анкеровки стальных фибр в цементных строительных материалах путем формирования на поверхности фибр микрорельефной структуры, позволяющей получить анкеровку фибр по всей поверхности.

Исследования проводили с использованием фибр стальных анкерных ФСН-А-1,00/50 из проволоки диаметром 1 мм, производимой ОАО «БМЗ», выполненной в виде прямого отрезка длиной 50 мм с двумя анкерными отгибами на концах, а также с использованием прямой фибры из стальной проволоки диаметром 1 мм.

Разработан состав травильного раствора, позволяющий в течение 10-15 мин получать на поверхности стальных проволочных фибр микрорельефную структуру рис. 1, а. Фрагмент такой фибры, извлеченной из цементно-песчаного раствора выдергиванием, приведен на рис. 1, б, из которого видно, что микроуглубления на поверхности заполнены цементным камнем, следовательно, отделение фибр происходит по разрыву частиц цементного камня, что свидетельствует об анкеровке фибр вдоль всей поверхности за счет механического сцепления поверхности в результате проникновения цементного камня в поверхностные углубления.

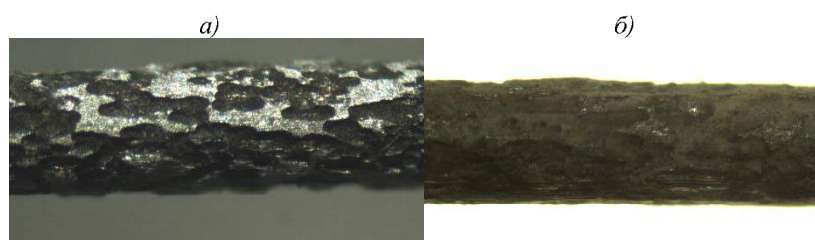


Рис. 1. Микроструктура поверхности: а – фибра, полученная травлением; б – фибра, извлеченная из цементно-песчаного раствора

Для оценки влияния микрорельефной структуры поверхности фибр на анкеровку и механические свойства цементно-песчаных растворов, готовили образцы на основе раствора, состоящего из песка и цемента (ПЦ-500) в соотношении 3:1 и воды при водоцементном соотношении 0,5. Фибру в раствор вводили исходя из расчета 80 кг фибры на 1 м<sup>3</sup> раствора.

Образцы для испытаний на статическое выдергивание готовили в форме призм размером 40×40×30 мм в которые анкеровали концы фибр на глубину 20 мм; для испытаний на статические сжатие – в форме кубов с ребром 100 мм; для испытаний на растяжение при изгибе – в форме балочек 40×40×160 мм.

Испытания на статическое выдергивание фибр проводили со скоростью 0,1 мм/мин на испытательной машине KASON WDW-100, с помощью которой записывали диаграммы «смещение фибры – нагрузка», и определяли наибольшую нагрузку, предшествующую осевому смещению фибры в образце. Испытания образцов кубов на статическое сжатие проводили на автоматическом прессе MATEST C071N со скоростью нагружения  $0,6 \pm 0,1$  МПа/с. Испытания на растяжение при изгибе балочек проводили на машине KASON WDW-100 со скоростью нарастания испытательной нагрузки на образцы  $0,05 \pm 0,01$  кН/с ( $0,12 \pm 0,02$  МПа/с).

Результаты испытаний фибр на статическое выдергивание – наибольшая нагрузка, предшествующая осевому смещению фибры ( $F_{max}$ ) и удельная сила сцепления фибры с раствором ( $F_y$ ), приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты испытаний фибр на статическое выдергивание**

Вид анкеруемой фибры	$F_{max}$ , Н	$F_y$ , Н/мм
Прямая гладкая фибра	187	9,35
Гладкая фибра с анкерным отгибом на конце	285	14,25
С анкерными отгибами и микрорельефной структурой	598	29,90
Прямая фибра с микрорельефной структурой	575	28,75

Из табл. 1 видно, что наличие анкерного отгиба у гладкой проволоочной фибры на конце увеличивает максимальную нагрузку, предшествующую осевому смещению фибры в 1,52 раза, в то время как наличие микрорельефной структуры на поверхности фибры анкерного профиля практически удваивает эту нагрузку. Прямая фибра с микрорельефной структурой поверхности имеет характеристики только на 3,8 % ниже, чем аналогичная фибра с анкерным отгибом. Это свидетельствует о том, что основной вклад в анкерровку такой фибры в цементном растворе вносит сцепление цементного камня с ее поверхностью.

Результаты испытаний образцов на статическое сжатие – разрушающая нагрузка ( $F_p$ ) и предел прочности при сжатии ( $\sigma_{сж}$ ), приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты испытаний образцов на статическое сжатие**

Вид фибры, использованной для армирования	$F_p$ , кН	$\sigma_{сж}$ , МПа
Без фибры	178,80	16,99
Гладкая фибра с анкерными отгибами на концах	258,70	24,58
С анкерными отгибами и микрорельефной структурой	331,98	31,54
Прямая фибра с микрорельефной структурой	314,28	29,86

Из табл. 2. видно, что армирование фибрами из гладкой проволоки с анкерными отгибами на концах позволяет увеличить предел прочности на сжатие примерно на 30 % по сравнению с неармированным раствором. Наличие у фибр микрорельефной структуры на поверхности позволяет увеличить предел прочности при сжатии на 22 % по сравнению с гладкой анкерной фиброй и в 1,9 раз по сравнению с неармированным раствором. Использование прямой фибры с микрорельефной структурой позволяет получить предел прочности при сжатии только на 5,3 % ниже, чем использование структурированной фибры анкерного профиля, что свидетельствует об основном вкладе поверхностной анкеровки, а наличие анкерных отгибов на концах фибр перестает играть существенную роль.

Результаты испытаний образцов на растяжение при изгибе – средняя разрушающая нагрузка ( $F_p$ ) и предел прочности на растяжение при изгибе ( $\sigma_p$ ), приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты испытаний образцов на растяжение при изгибе**

Вид фибры, использованной для армирования	$F_p$ , кН	$\sigma_p$ , МПа
Без фибры	2,20	5,16
Гладкая фибра с анкерными отгибами на концах	2,92	6,84
С анкерными отгибами и микрорельефной структурой	5,04	11,80
Прямая фибра с микрорельефной структурой	4,46	10,45

Из табл. 3. видно, что армирование фибрами из гладкой проволоки с анкерными отгибами на концах позволяет увеличить предел прочности на растяжение при изгибе примерно на 33 % по сравнению с неармированным раствором. Наличие у фибр микрорельефной структуры на поверхности позволяет увеличить предел прочности на растяжение при изгибе на 73 % по сравнению с гладкой анкерной фиброй и почти в 2,3 раза по сравнению с неармированным раствором, и практически такие же результаты (на 11 % ниже) достигаются при использовании прямой фибры с микрорельефной структурой.

Полученные результаты показали, что вклад поверхностной анкеровки текстурированной фибры становится основным, а наличие анкерных отгибов на концах фибр перестает играть существенную роль, следовательно, для армирования целесообразно использовать прямую фибру с микрорельефной текстурой, поскольку такой вид фибр проще в производстве и характеризуется лучшей равномерностью распределения в объеме строительной смеси.

Актуальность проведенных исследований обусловлена тем, что стальная фибра, применяемая для дисперсного армирования, не имеет существенного сцепления всей поверхности с цементным камнем строительных материалов и не может образовывать анкеровку всей

поверхности. Обработка фибр разработанным травильным составом позволяет получить на поверхности микрорельефную структуру, обеспечивающую анкеровку всей поверхности проволоки фибры за счет механического сцепления в результате проникновения цементного камня в углубления на поверхности фибр.

#### **Библиографический список**

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. – М.: АСВ. 2004. – 559 с.
2. RU № 2278180, МПК С 22 С 49/14. Металлическое волокно В.А. Шейнерга, Ахметшин, М.Р. и др. 20.06.2006.
3. RU № 2433227, МПК Е 04 С 5/00. Арматурный элемент для дисперсного армирования бетона. Шеметов, Г.В. и др. 10.11.2011.
4. RU № 2490406, МПК Е 04 С 5/03. Арматурный элемент для дисперсного армирования бетона. Трофимов В.И. и др. 20.08.2013.
5. RU № 113199 U1. МПК В 32 В 5/16. Волокно для армирования. Гатитулин М.Н. 10.02.2012.
6. RU № 2601705 С1. МПК Е 04 С 5/00, С04В 14/38. Фибра для дисперсного армирования бетона. Трофимов В.И. и др. 10.11.2016.
7. RU № 2667256 С2. СПК Е 04 С 5/12. Арматурный элемент. Харлов С.Н. 10.11.2017.

### **ОГНЕННОПОЛИРОВАННЫЙ ОБЛИЦОВОЧНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ**

**Здоренко Н.М.**, канд. техн. наук,  
**Бессмертный В.С.**, д-р техн. наук, проф.  
*Белгородский университет кооперации,  
экономики и права, г. Белгород, Россия*

При строительстве зданий и сооружений особое внимание уделяется повышению их архитектурно-художественных достоинств, что существенно увеличивает их стоимость [1, 2]. Для снижения цены облицовочных материалов используются в качестве сырья бытовые и промышленные отходы и местные источники сырья [3].

Композиционные стеклокристаллические материалы, к которым относят облицовочные материалы, обладают высокими прочностными показателями, химической стойкостью и эстетико-потребительские свойствами [4].

Однако, основными недостатками традиционной технологии их получения [5] является длительность технологического процесса, его