

**В.Г. Зарапин,**  
к.т.н., доц.,  
Белорусский государственный  
технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНКЕРОВКИ СТАЛЬНОЙ ФИБРЫ С МИКРОРЕЛЬЕФНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Аннотация:** исследована анкеровка в цементном растворе фибр с микрорельефной текстурой поверхности, полученной химическим травлением, и влияние армирования текстурированной фиброй на показатели прочности цементно-песчаного раствора.

**Ключевые слова:** фибра, анкеровка, микрорельефная поверхность, армирование.

**V.G. Zarapin,**  
Ph.D., Assoc.,  
Belarusian state technological university,  
Minsk, Republic of Belarus

## STEEL FIBER ANCHORING STUDY WITH MICRO-RELIEF SURFACE FOR REINFORCEMENT OF BUILDING PRODUCTS

**Abstract:** anchoring in a cement mortar of fibers with a micro-relief texture of the surface obtained by chemical etching, and the effect of reinforcement with textured fibers on the strength indicators of a cement-sand mortar have been investigated.

**Keywords:** fiber, anchoring, micro-relief surface, reinforcement.

Дисперсное армирование строительных материалов на основе цемента является одним из перспективных способов улучшения их качества, поскольку дополнение состава крепкими волокнами делает исходный материал существенно прочнее.

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. Для улучшения анкеровки в этих работах предлагается усложнение конфигурации и строения

арматурных элементов, что в итоге усложняет технологию их производства, требует наличия специального оборудования и зачастую ведет к увеличенному расходу стали. Например, фибры из проволоки с равномерно деформированными участками, имеющими выступы и впадины в форме волны в трехмерном измерении [1], в виде проволочного тора эллипсоидного или сферического профиля с выпусками-анкерами в виде усов [2], в виде объемного, винтообразного криволинейного отрезка проволоки [3], в виде отрезка нити с анкерами на концах, состоящего из двух ветвей с общим анкером [4], в виде равностороннего треугольника [5] и др. Такие фибры, помимо сложности изготовления вследствие их сложной конфигурации, из-за развитости формы склонны к комкованию с образованием «ежей», что препятствует их равномерному распределению в смеси, и, как следствие, к формированию областей с повышенным и пониженным содержанием фибры.

Задачей данного исследования было формирование на поверхности стальной проволоки фибр микрорельефной структуры, в определенной степени аналогичной периодическому профилю обычной арматуры, что позволит получить анкеровку таких фибр по всей поверхности, и улучшит совместную работу при нагружении матрицы на основе цемента и волокон фибр, тем самым улучшив показатели прочности дисперсно-армированных материалов.

Исследования проводили с использованием фибр стальных анкерных ФСН-А-1,00/50 из проволоки диаметром 1 мм, производимой ОАО «БМЗ», представляющих собой металлическую нить 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 минут получать на поверхности стальных проволочных фибр микрорельефную текстуру (рисунок 1).

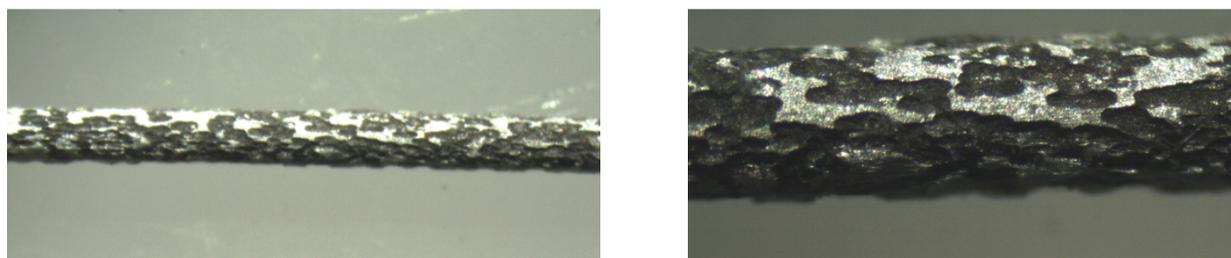


Рисунок 1 – Микроструктура поверхности фибры, полученная травлением

Для оценки качества анкеровки фибр приводили испытания на статическое выдергивание, для чего готовили образцы из цементного раствора (песок и цемента (ПЦ–500) в соотношении 3:1 при водоцементном соотношении 0,5) в форме призм размером 40×40×30 мм в которые анкеровали концы фибр на глубину 20 мм. Испытания проводили со скоростью 0,1 мм/мин на испытательной машине KASON WDW-100, с помощью которой записывали диаграммы «смещение фибры – нагрузка». 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 таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний фибр на статическое выдергивание

№ п/п	Вид анкеруемой фибры	$F_{max}$ , Н	$F_y$ , Н/мм
1	Гладкая прямая фибра	187	9,35
2	Гладкая фибра с анкерным отгибом на конце	285	14,25
3	С анкерным отгибом и микрорельефной текстурой	598	29,90
4	Прямая фибра с микрорельефной текстурой	575	28,75

Из таблицы 1 видно, что наличие анкерного отгиба на конце у гладкой проволочной фибры увеличивает максимальную нагрузку, предшествующую осевому смещению фибры в 1,52 раза, в то время, как наличие микрорельефной текстуры на поверхности фибры с анкерным отгибом практически удваивает эту нагрузку. Важно отметить, что прямая фибра с микрорельефной текстурой поверхности имеет характеристики только на 3,8% ниже, чем аналогичная фибра с анкерным отгибом, что свидетельствует о том, что основной вклад в анкеровку такой фибры вносит сцепление цементного камня с ее поверхностью. Микроскопические исследования таких фибр показали, что микровпадины поверхности после выдергивания остаются заполненными цементным камнем.

Для оценки влияния микрорельефной текстуры поверхности фибр на механические свойства цементно-песчаных растворов, проведены испытания армированных цементно-песчаных растворов на сжатие (кубы с ребром 100 мм) и на растяжение при изгибе (балочки 40×40×160 мм). Образцы готовили 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. Испытания на статическое сжатие проводили на прессе MATEST C071N со скоростью нагружения 0,6±0,1 МПа/с; на растяжение при изгибе – на машине KASON WDW-100 со скоростью нарастания нагрузки на образец 0,05±0,01 кН/с (0,12±0,02 МПа/с). Результаты испытаний образцов – пределы прочности при сжатии ( $\sigma_{сж}$ ) и пределы прочности на растяжение при изгибе ( $\sigma_p$ ), приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов цементных растворов на сжатие и на растяжение при изгибе

№ п/п	Вид фибры, использованной для армирования	$\sigma_{сж}$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа
1	Без фибры	16,99	5,16
2	Гладкая фибра с анкерными отгибами на концах	24,58	6,84
3	С анкерными отгибами и микрорельефной текстурой	31,54	11,80
4	Прямая фибра с микрорельефной текстурой	29,86	10,45

Из таблицы 2 видно, что армирование фибрами из гладкой проволоки с анкерными отгибами на концах позволяет увеличить предел прочности раствора на сжатие примерно на 30% по сравнению с неармированным раствором. Наличие у фибр анкерного профиля микрорельефной текстуры повышает предел прочности при сжатии на 86% по сравнению с неармированным раствором, а использование прямой фибры с микрорельефной текстурой позволяет увеличить предел прочности при сжатии на 76%.

Армирование фибрами из гладкой проволоки с анкерными отгибами позволяет увеличить предел прочности на растяжение при изгибе примерно на 33% по сравнению с неармированным раствором. Наличие у фибр микрорельефной текстуры на поверхности позволяет увеличить предел прочности на растяжение при изгибе 2,3 раза, а использование прямой фибры с микрорельефной текстурой – в 2 раза.

Из полученных результатов видно, что использование прямой фибры с микрорельефной текстурой позволяет достигнуть почти аналогичных показателей прочности цементных растворов, как с использованием фибры анкерного профиля с микрорельефной текстурой, что свидетельствует об основном вкладе поверхностной анкеровки текстурированной фибры, а наличие анкерных отгибов на концах фибр перестает играть существенную роль. Следовательно, для улучшения характеристик армированных фиброй цементных строительных материалов целесообразнее использовать прямую фибру с микрорельефной текстурой, поскольку такой вид фибр менее склонен «комкованию» и характеризуется лучшей равномерностью распределения в объеме материала.

Актуальность проведенных исследований обусловлена тем, что стальная фибра, применяемая для дисперсного армирования, не позволяет образовывать анкеровку вдоль всей поверхности. Обработка фибр разработанным травильным составом позволяет получить на поверхности микрорельефную текстуру, что дает возможность обеспечить анкеровку всей поверхности стальной фибры за счет механического сцепления в результате проникновения цементного камня в углубления на поверхности фибр.

#### ***Список использованных источников литературы:***

[1] RU №2433227, МПК Е 04 С 5/00. Арматурный элемент для дисперсного армирования бетона. Шеметов, Г.В. и др. 10.11.2011.

[2] RU №2490406, МПК Е 04 С 5/03. Арматурный элемент для дисперсного армирования бетона. Трофимов В.И. и др. 20.08.2013.

[3] RU №113199 U1. МПК В 32 В 5/16. Волокно для армирования. Гатитулин М.Н. 10.02.2012.

[4] 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.

[5] RU №2667256 С2. СПК Е 04 С 5/12. Арматурный элемент. Харлов С.Н. 10.11.2017.