

*Клюев С. В., канд. техн. наук, докторант,
Лесовик В. С., д-р техн. наук, проф.
Клюев С. В., м.н.с.*

Бондоренко Д. О., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ ФИБР ДЛЯ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ*

Klyuyev@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы применения стальной и полипропиленовой фибр для дисперсного армирования мелкозернистых бетонов. В качестве вяжущего использовался тонкомолотый цемент и вяжущее низкой водопотребности. Установлено, что применение композиционных вяжущих и высокоплотной упаковки зерен заполнителя значительно повышают прочностные показатели. Оптимальный подбор заполнителя позволил получить на техногенных песках КМА фибробетон с пределом прочности при сжатии – 84,8 МПа, при изгибе 19,3 МПа.

Ключевые слова: *мелкозернистый бетон, техногенный песок, фибробетон.*

Дисперсное армирование может осуществляться как одним видом фибр, так и смесью разных фибр, имеющих разные параметры и значительно отличающиеся по составу (например, в данной статье будет рассмотрен вопрос комбинированного армирования стальной и пропиленовой фиброй мелкозернистого бетона). Применение дисперсного армирования для железобетонных конструкций, в которых часть стержневой арматуры заменяется на фибровую или исключает ее полностью, представляет практический интерес. Производство дисперсно-армированных композитов и конструкций на их основе зависят в значительной мере от вида используемых для них армирующих материалов (фибр) [1, 2].

При создании дисперсно-армированных бетонов необходимо учитывать вид используемых бетонных матриц. Для изготовления дисперсно-армированных конструкций используются обычный тяжелый бетон с ограниченной величиной зерен крупного заполнителя, цементно-песчаный раствор, а также цементный или гипсовый камень. В ряде случаев целесообразно использование легких бетонов. Вид бетона определяет характер рационального для него вида дисперсного армирования и оптимальные значения геометрических параметров дисперсной арматуры [4].

Существует 2 принципиально различных вида матриц, упрочненных фибрами: непрерывное армирование, т.е. длинными фибрами, которые внедрены в матрицу такими технологиями, как накальная обмотка или наслаивание слоев фибрового волокна; и отдельными короткими фибрами, длиной менее 50 мм, которые вводятся в матрицу распылением или смешиванием. Армирование матрицы можно дополнительно классифицировать по распределению фибр в

матрице. Непрерывным по форме фибрам можно задавать нужную ориентацию, что контролируется производственным процессом (ориентацией намотки или направлением наслаивания волокон) и структурой слоя фибр. В случае распределенных фибр в матрице более однородно и короткие фибры склонны принимать случайную ориентацию. Тем не менее, даже в этих системах распределение фибр редко полностью однородно, и случайная ориентация фибр далека от идеала.

При решении вопросов дисперсного армирования бетонных материалов необходимо учитывать, что не все искусственные волокна способны противостоять воздействиям среды гидратирующихся цементов. Например, стеклянные волокна обычного состава подвергаются интенсивной коррозии в твердеющем бетоне на портландцементе и практически не вступают в химическое взаимодействие с продуктами гидратации гипсовых вяжущих. Напротив, стальные волокна заметно корродируют в композициях на основе гипса, причем те же волокна надежно защищаются от процессов коррозии в гидратирующейся среде цементных вяжущих. Эти обстоятельства должны учитываться при назначении оптимальных составов композиции "бетон-волокно".

Исследования показывают, что дисперсное армирование обеспечивает повышение прочности сечений сжатых, растянутых и изгибаемых элементов конструкций, увеличивает их трещиностойкость, ударную вязкость, термическое сопротивление и другие физико-механические показатели. Имеются примеры успешного применения дисперсно-армированных бетонов в конструкциях различного назначения: стеновых панелях, плитах покрытий, днищах резервуаров, сваях, трубах, лотках коммуникационных кана-

лов, полах промышленных зданий, дорожных и аэродромных покрытиях, несъемной опалубке для возведения монолитных конструкций и др. Дисперсное армирование приводит в ряде случаев к снижению материалоемкости конструкций, стоимости и трудоемкости изготовления по сравнению с традиционными решениями. Это достигается в значительной мере за счет частичного или полного отказа от необходимости применения в конструкциях традиционных арматурных сеток и каркасов, а также в результате перевода во многих случаях комплекса производства арматурных работ в процессе изготовления армированной бетонной смеси непосредственно в бетоносмеситель [4].

Основной задачей при получении мелкозернистых бетонов, в том числе дисперсно-армированных, является снижение расхода клинкерной составляющей, так как из-за отсутствия крупного заполнителя идет перерасход цемента. Наиболее существенными факторами снижения содержания цемента в дисперсно-армированных мелкозернистых бетонах являются, уменьшение водопотребности бетонной смеси и повышение активности вяжущего. Поэтому с этой точки зрения перспективным направлением повышения эффективности таких бетонов считается применение композиционных вяжущих.

В ходе исследования были разработаны вяжущие следующих составов: вяжущее тонкомолотый цемент (ТМЦ-70) получали путем домола до удельной поверхности $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108–2003.

Вяжущее низкой водопотребности (ВНВ-70) получали путем совместного помола до удельной поверхности $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н, отсева дробления кварцитопесчанника и пластифицирующей добавки СП-1 в оптимальной дозировке.

Для оценки возможности применения оптимального вида фибры при производстве высококачественного мелкозернистого сталефибробетона были разработаны составы, в которых в качестве заполнителя был применен отсев дробления кварцитопесчанника. Для оптимизации структуры матрицы в состав бетона был введен таволжанский песок.

С целью получения высококачественных сталефибробетонов в бетонную матрицу было введено три вида фибры: фибра стальная, волнообразная, длина 30 мм, диаметр 0,8 мм; фибра полипропиленовая, длиной 6 мм.

С целью получения более высокопрочных фибробетонов были проведены экспериментальные исследования (табл. 1).

Таблица 1

Физико-механические характеристики мелкозернистого фибробетона

Вид вяжущего	Вяжущее, кг	Расход материалов, кг/м ³				Полипропиленовая фибра, кг	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа
		Отсев дробления КВП, кг	Таволжанский песок, кг	Вода, л	Стальная волновая фибра, кг			
Цем I 42,5Н	510	1180	555	170	-	-	50,2	13,7
Цем I 42,5Н*ВПУ	510	1185	555	172	-	-	56,5	14,2
Цем I 42,5Н	510	1180	555	172	72	-	57,4	16,8
Цем I 42,5Н*ВПУ	510	1185	555	174	72	-	65,2	17,6
ТМЦ-70	510	1180	555	160	72	-	63,4	17,4
ТМЦ-70*ВПУ	510	1185	555	162	72	-	69,7	18,2
ВНВ-70	510	1180	555	150	72	-	76,2	19,1
ВНВ-70*ВПУ	510	1185	555	152	72	-	84,8	19,8
ВНВ-70*ВПУ	510	1185	555	152	32	3	82,8	19,1

*ВПУ – высокоплотная упаковка зерен мелкозернистого фибробетона

Разработанный алгоритм расчета многофункциональной системы «клинкер-наполнитель-заполнитель-органическая добавка-вода» позволил варьировать параметрами

бетонной смеси с целью повышения эксплуатационных характеристик композита. Изучив и проанализировав полученные экспериментальные данные за счет использования высокоплот-

ной упаковки зерен, можно сделать вывод, что эти характеристики увеличиваются на 20 – 30%.

Эффект от применения высокоплотной упаковки зерен техногенного заполнителя, обогащенного таволжанским природным песком, достигается за счет более компактного расположения всех компонентов, включая стальную фибру и оказывает на бетонную смесь комплексное воздействие. Так, кроме контактов «цементное тесто–заполнитель», появляются контакты «фибра–вяжущее», прочность которых в значительной степени зависит от физико-химического взаимодействия минералов, входящих в состав заполнителей и частиц вяжущего.

Применение же композиционных вяжущих, таких, как ТМЦ-70 и ВНВ-70, позволяет, в свою очередь, повысить характеристики бетона по сравнению с аналогичными составами на основе цемента, что объясняется более плотной структурой цементного камня самих композиционных вяжущих и, следовательно, бетонов на их основе, а также меньшей пористостью.

Таким образом, высокоплотная упаковка компонентов смеси на основе композиционных вяжущих оказывает направленное воздействие на структурообразование сталефибробетона, позволяя повысить прочностные и деформативные характеристики. Рациональный подбор заполнителя и применение стальной волновой фибры дало возможность получить на техногенных песках КМА фибробетон с пределом прочности при сжатии – 84,8 МПа, при изгибе – 19,8 МПа. При комбинированном армировании стальной и полипропиленовой фибрами на техногенных песках КМА разработали фибробетон с пределом прочности при сжатии – 82,8 МПа, при изгибе – 19,1 МПа. Однако, при прочностных характеристиках того же порядка разработанная смесь фибробетона на основе комбинированного армирования по стоимости ниже на 25% по сравнению с составом на стальной фибре и том же композиционном вяжущем, за счет снижения количества стальной фибры.

**Работа выполнена в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы, грант № 14.В37.21.1487, тема: «Разработка научных и практических основ создания композиционных вяжущих на основе техногенного сырья с целью производства фибробетона для ремонтных работ», и гранта президента Российской Федерации МК-2715.2012.8 по теме: «Разработка научных и практических основ повышения эффективности мелкозернистого фибробетона на основе техногенного песка и композиционного вяжущего для промышленного и гражданского строительства».*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключев, А.В. Отходы горнодобывающих предприятий как сырье для производства мелкозернистого бетона армированного фибрами / А.В. Ключев, С.В. Ключев, Р.В. Лесовик, О.Н. Михайлова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 81 – 84.
2. Ключев, С.В. Экспериментальные исследования фибробетонных конструкций / С.В. Ключев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2011. – №.4 – С. 71 – 74.
3. Рабинович, Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны / Ф.Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 174 с.