

УДК 622.273

А. А. ШУБИН (канд. техн. наук, доц.)

Горный Университет, г. Санкт-Петербург, Россия

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТОРКРЕТБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ФИБРОПОЛНИТЕЛЕМ

Показаны преимущества использования дисперсных волокон в составе бетонных смесей при проведении различного рода строительных и горно-строительных работ. Приведены количественные показатели свойств торкретфибробетонных композиций.

Ключевые слова: фибробетон, деформируемость, прочность.

Большие преимущества торкретбетона в строительстве и укреплении горных пород, а также улучшение соответствующего оборудования, материалов и технологии нанесения, сделали его важным инструментом в различных видах работ.

Использование в торкретбетоне фибры (такой материал получил название торкретфибробетон) позволяет значительно повысить экономический эффект за счет отказа от арматурных сеток и уменьшения толщины возводимой конструкции, что обусловлено возможностью торкретфибробетона воспринимать растягивающие напряжения, возникающие в изделии. Наряду с повышенной прочностью на осевое растяжение, торкретфибробетон обладает и более высокой прочностью на сжатие, растяжением при изгибе, трещиностойкостью, ударной вязкостью, термостойкостью. Кроме того, снижается трудоемкость производства работ – армирование конструкций совмещается с процессом бетонирования, увеличивается толщина наносимых слоев, снижается "отскок" материала. Одновременно, применение стальной фибры позволяет улучшить качество сцепления торкретбетона с поверхностью нанесения.

Преимущества торкретбетона с полипропиленовыми волокнами (ППВ) заключаются в лучшем сцеплении бетонной смеси, что так же снижает отскок и ускоряет укладку. При высокой дозировке более длинных волокон его прочность может сравниться с бетоном, содержащим 25–30 кг стальной арматуры.

На поведение бетона при нагружении основное влияние оказывают неоднородности, относящиеся к верхнему уровню структуры материала. Именно структурообразование в значительной мере определяет кинетику формирования и развития критических трещин, ответственных за разрушение материала при силовых воздействиях. Следовательно, эффективным уровням дисперсного армирования должны соответствовать такие параметры структуры армированного материала, при которых в наибольшей мере проявляются торможение (блокирование) роста трещин бетонных матриц и исключение процесса седиментации.

В результате совмещения микроармирующих композиционных элементов и матрицы образуется комплекс свойств композита, не только отражающий характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми изолированные материалы не обладают. В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала. Более того, в композитах, в отличие от металлов, повышение статической прочности приводит не снижению, а к повышению характеристик вязкости разрушения [1].

Невысокая стоимость таких полимерных материалов как полиолефины (полипропилен и полиэтилен) и доказанная многими авторами эффективность введения синтетических волокон в бетоны позволяют судить о достаточно высоком потенциале применения полимерных волокон для улучшения физико-механических и других свойств композиций на основе неорганических вяжущих.

Количество, тип и длина волокон используемых в смесях при проведении строительных работ на поверхности, зависит от требований проекта. Объем волокон менее 0,1 % понижает пластическую усадку в процессе трещинообразования, а следовательно, препятствует растрескиванию материала. Установлено [2], что присутствие полипропиленовой фибры в бетонах и растворах устраняет образование усадочных трещин на раннем этапе на 60–90 % (при применении арматурной сетки – всего на 6 %).

Дозировка 0,1 и более % по объему или 0,6 – 0,9 кг/м³ раствора предотвращает возможность его смешивания в автобетономешалке в течение 5 минут для равномерного рассеивания без образования комков и скоплений [2].

Более высокая дозировка, особенно фибриллированных волокон, используется в сборном бетоне, торкрет-бетоне и других видах бетона, где важна прочность и устойчивость к раскалыванию.

При дозировке 0,1–1,0 % ППВ не обеспечивает первичного армирования. Теория показывает [3], что количество волокна, которое выдерживает нагрузку после растрескивания – критический объем волокна – для ППВ составляет примерно 2,0 % по объему. Однако, даже дозировка 0,1–1,0 % ППВ по объему дает определенные преимущества раствору, как в пластичном, так и в затвердевшем состоянии. Волокна оказывают эффект немедленно, повышая сцепление смеси, препятствуя оседанию крупных, тяжелых частиц при уплотнении и облегчая подачу смеси насосом [4].

В механике композитов с дисперсным армированием при оценке влияния длины волокна (фибры) используется относительный параметр l/d , при этом считается, что наибольший армирующий эффект достигается при $l/d \approx 60 \dots 100$. При больших значениях этого параметра (больших длинах волокон) армирующий эффект ухудшается ввиду комкования волокон и ухудшении однородности структуры.

Влияние объемной концентрации фибры реализуется, начиная от некоторого уровня, обуславливающего достижение начальной объемно – пространственной связности фиброструктуры. Только после достижения «непрерывности» фиброармирования начинает ощущаться его позитивное влияние на характеристики исходного бетона – матрицы. Согласно [5], такие условия для игл при $l/d = 100$ наступают при объемной концентрации около 0,3 %.

Для анализа влияния армирования полипропиленовыми фибрами на прочность композита нами были проведены следующие исследования. В качестве базовых образцов, моделирующих свойства тонкостенных растворополимерных конструкций приняты пластины размерами $d \times 9 \times 40$ см, где толщина плит $d=1$ см или равна толщине стенок или полок конструкции. В наших исследованиях такие образцы испытывали с помощью специальных приспособлений на осевое растяжение, на изгиб в положениях «плашмя» и «на ребро». На сжатие испытывали полые призмы, склеенные из указанных пластин. На образцах определялась также усадка.

Образцы изготавливали из мелкозернистого бетона группы А классов В25...В40 с содержанием полипропиленовой фибры $n = 0,5; 1,0; 1,5$ и 2,0 % объема композита. Для фиброармирования использовали волокно (FIBRIN X-T), выпускаемое в виде отрезков длиной 14 мм. Прочность на разрыв волокон диаметром 0,2 мм составляет 450 – 600, а модуль упругости – 4000 – 6000 МПа. Цементно-песчаная матрица имела состав Ц:П=1:1 на цементе марок 400 и 500 при расходах до 800 кг/м³, В:Ц=0,45 и песке с модулем крупности до $M_k=1,5$.

Нагрузка, вызвавшая появление первых трещин в образцах с армированием 1,0 – 2,0%, при испытаниях на растяжение и изгиб, была на 10 – 12% больше той, которая образовывала трещины в образцах с меньшим процентом армирования.

При этом предельные относительные деформации растяжения раствора к моменту обнаружения первых трещин шириной раскрытия 3 – 5 мкм составили до $20 \cdot 10^{-5}$ – $30 \cdot 10^{-5}$, что в 2 – 2,5 раза больше, чем предельная растяжимость раствора-матрицы.

Первые силовые трещины при изгибе образовывались, как правило, у поверхностных пор. При увеличении нагрузки на поверхности образца появлялось большое число штриховых трещин, объединяющихся в предельной стадии в сплошные трещины с шагом от 3 до 8 мм при $n=0,5$ % и от 20 до 30 мм при $n=1,0$ %. Для определения трещиностойкости опытных образцов использовали метод разнообразных тензодатчиков, микроскоп и трубку Бринеля.

Наибольшая прочность при сжатии полипропиленового фиброраствора (при абсолютных значениях 29...32 МПа) получена при $n=1,5$ %; она превышала прочность раствора-матрицы всего на 10% (рис. 1).

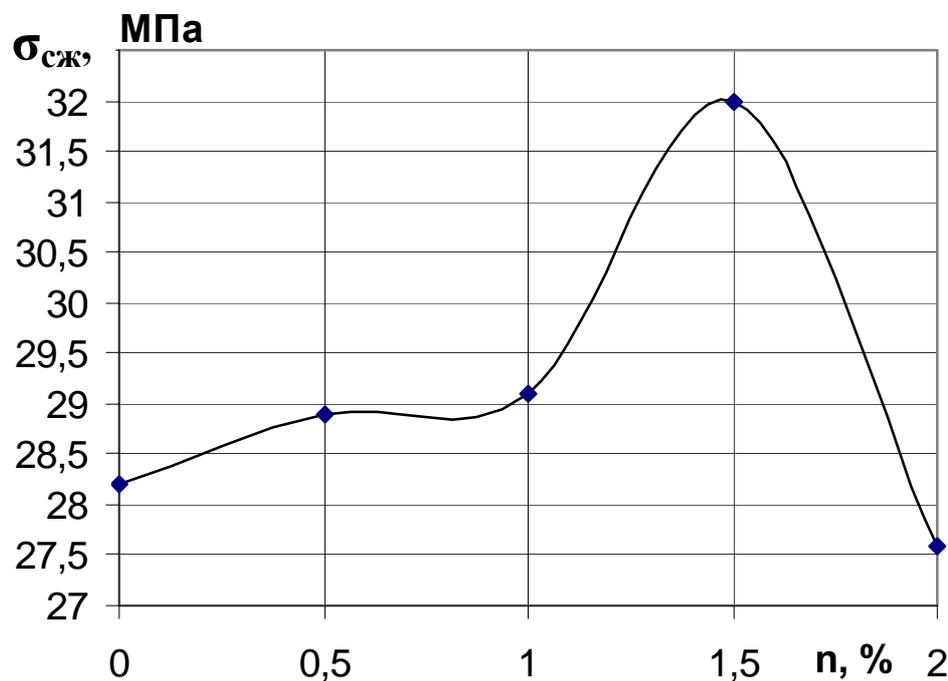
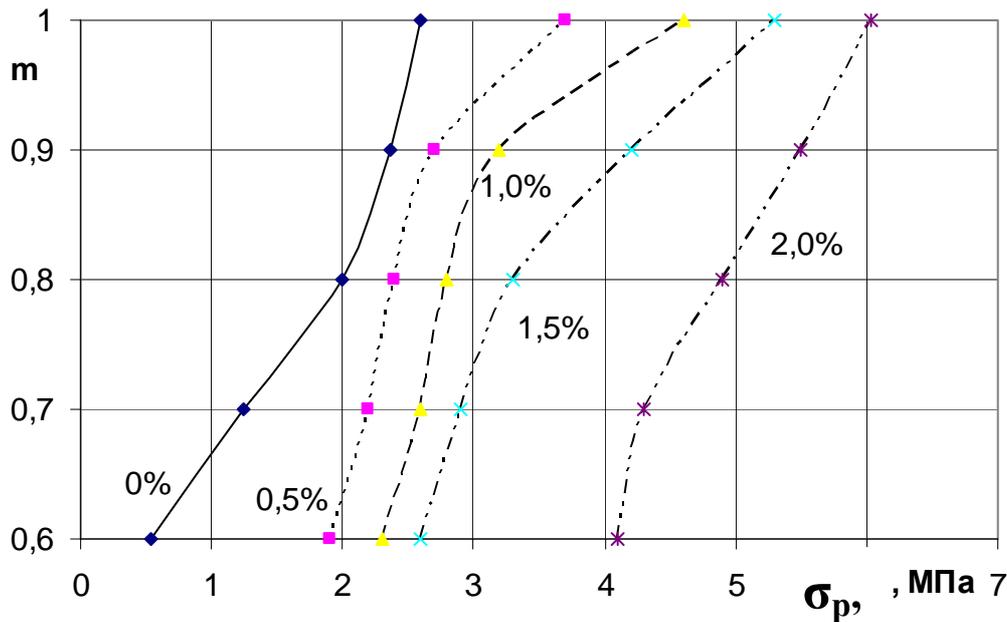


Рис. 1. График зависимости величины предельных напряжений на сжатие от процента армирования

Увеличение содержания фибр до 2,0 % несколько затрудняло уплотнение смеси, прочность при этом оставалась близкой к прочности бетона-матрицы. Коэффициент Пуассона полимерфиброраствора находится в пределах от 0,20 до 0,23.

Прочность раствора с дисперсными волокнами из полипропилена при растяжении σ_p при опытных значениях 3,7...6,04 МПа увеличивалась с повышением прочности матрицы и при увеличении содержания в ней фибры. При $n=2,0$ % она в 2 – 2,3 раза больше прочности раствора-матрицы. При переходе от класса В20 к В40 прочность на растяжение увеличилась на 20%. Результаты исследований приведены на рис. 2.

Параметром m , на рис. 2 обозначен коэффициент, учитывающий влияние прочности матрицы на прочность композита. Значение $m=1$ соответствует классу бетона В40, а $m=1$ – классу В20, для данных условий испытаний.



Учитывая, что разрушение изгибаемых или растянутых элементов из полимерфибробетона возникает, в основном, при нагрузке, превосходящей, нагрузку трещинообразования, то при определении прочности на растяжение раствора с наполнителем из волокнистого полимера можно воспользоваться формулой [4]:

$$\sigma_p = nmC\sigma_\phi,$$

где n – коэффициент армирования, определяемый отношением объема фибры к объему композита;

σ_ϕ – прочность при разрыве моноволокна;

m – коэффициент, учитывающий влияние прочности матрицы на прочность композита;

C – комплексный коэффициент, учитывающий ориентацию волокон, влияние длины волокон, влияние агрегатного состояния армирующего волокна и др.

Использование зависимостей показанных на рис. 2 дает возможность комплексного решения задачи о разрушении бетона или раствора с фиброполнителем от действия растягивающих нагрузок.

Список использованной литературы

1. Васильев В.В. Композиционные материалы / В.В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Высш. шк., 1987. – 415 с.
3. Гордон С.С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях / С.С. Гордон. – М.: Стройиздат, 1969. – 70 с.
4. Бирюкович К. Л. Мелкие суда из стеклоцемента и армоцемента / К.Л. Бирюкович, Ю.Л. Бирюкович, Д. Л. Бирюкович. – Л.: Судостроение, 1965. – 164 с.
5. Бабков В.В. Модифицированные бетоны повышенной ударной выносливости / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, М.Б. Давлетшин, А.В. Парфенов, А.Е. Чуйкин. – М.: Строительные материалы, 2002. – № 5.

Надійшла до редакції 26.03.2013

А.А. Шубін

Показані переваги використання дисперсних волокон у складі бетонних сумішей при проведенні різного роду будівельних і гірничо-будівельних робіт. Приведені кількісні показники властивостей торкрет-фібробетонних композицій

Ключові слова: фибробетон, деформованість, міцність

A. Shubin

Advantages of the use of dispersible fibres are rotined in composition concrete mixtures during the leadthrough of different sort of build and mining works. The quantitativе indexes of properties of torkret - fibro of concrete compositions are resulted

Keywords: torkret - fibro of concrete, deformation, strength