

УДК 627.8

ДИСПЕРСНОЕ АРМИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО БЕТОНА

О.М. Смирнова, Р.В. Корпош

FIBER-REINFORCEMENT FOR PRODUCTION OF HIGH-PERFORMANCE CONCRETE

O.M. Smirnova, R.V. Korposh

Аннотация. Рассмотрена технология дисперсного армирования полипропиленовой микрофибры для получения высококачественного бетона с использованием экспериментальных данных, методов сравнения и обобщения. Показано влияние способа введения микрофибры на оптимальный расход микрофибры, структуру бетона на различных уровнях (макроуровень, микроуровень) и на свойства затвердевшего бетона. Установлена зависимость прочности бетона на растяжение при изгибе от объемного содержания микрофибры при различных способах введения микрофибры. Для исследованных способов введения микрофибры установлены минимальные расходы микрофибры по объему.

Ключевые слова: высококачественный бетон; дисперсное армирование; микрофибра; способ введения; прочность на растяжение.

Abstract. Technology of polypropylene microfiber reinforcement for production a high-performance concrete using experimental data, methods of comparison and generalization are considered in the paper. The influence of the introduction way of microfiber on the optimal microfiber amount, on the concrete structure at different levels (macro-level, micro-level) as well as on the properties of hardened concrete are shown. Dependence of tensile in bending strength of concrete from the volume content of microfiber at various ways of microfiber introduction are stated. The minimum microfiber volume is established for the studied ways of microfiber introduction.

Key words: high-performance concrete; microfiber reinforcement; microfiber; ways of microfiber introduction; tensile in bending strength.

Введение

Требования к высококачественному бетону, который является конструкционным материалом, заключаются не только в высокой прочности. Как правило, бетонные смеси для получения высококачественного бетона имеют высокую подвижность (или растекаемость), а сам затвердевший бетон имеет высокие показатели технических свойств при низком расходе портландцемента на 1 МПа прочности [1-3]. Достижение таких показателей возможно за счет применения современных суперпластификаторов, дисперсного армирования, использования минеральных добавок природного и техногенного происхождения по тонкости помола, превышающих тонкость помола портландцемента.

В последние годы разрабатывается большое количество новых видов бетона: самоуплотняющиеся, высокопрочные, дисперсноармированные, реакционно-порошковые, легкие, архитектурные бетоны и др. Составы этих бетонов разрабатываются в рамках концепции высококачественного бетона, т.е. одним из критериев оценки бетона является низкий показатель удельного расхода портландцемента на 1 МПа прочности [4,5]. Обычно при подборе состава традиционного цементного бетона подбирается расход портландцемента на 1 куб.метр бетона. В высококачественном бетоне повышение его технических свойств, в том числе прочностных, получают не за счет увеличения расхода портландцемента [6-9]. Одним из способов является технология дисперсного армирования

микрофиброй. Это способствует изменению структуры бетона на различных уровнях: макроуровне и микроуровне.

Постановка задачи и методы исследования

Способ введения микрофибры влияет на структуру бетона и соответственно на его свойства. Увеличение расхода микрофибры и ее равномерное распределение, без образования комков, будет способствовать значительному повышению прочности на растяжение бетона. Эти мероприятия следует проводить на этапах выбора материалов, приготовления и укладки бетонной смеси. В связи с этим целью работы является исследование способа введения микрофибры на ее расход и распределение в структуре бетона.

Способ введения полипропиленовой микрофибры был исследован с помощью смесителя «Digi Mortar Mixer». Было выбрано 3 способа введения микрофибры. По первому способу микрофибра вводилась в сухие компоненты, затем все сухие компоненты перемешивались в сухом виде в течение 0,5 мин., затем вводилась вода затворения с суперпластификатором. По второму способу, в сухие компоненты вводилась вода затворения с суперпластификатором, затем микрофибра. По третьему способу, в сухие компоненты вводилась вода затворения в количестве 70% от общей массы воды, затем микрофибра, затем вода затворения в количестве 30% с суперпластификатором.

Обсуждение результатов

Определение оптимального расхода микрофибры является важной задачей при разработке состава высококачественного бетона. Понятно, что с увеличением расхода микрофибры прочность бетона на растяжение будет повышаться, однако, большой расход микрофибры приводит к ее плохому распределению в структуре бетона и резкому снижению удобоукладываемости бетонной смеси и прочностных характеристик. В связи с этим можно предположить, что каждому способу введения микрофибры соответствует ее оптимальный расход, выше которого микрофибра будет распределяться неравномерно.

Определение оптимального расхода микрофибры, учитывающее способ введения микрофибры и ее распределение в цементной матрице, может быть предложено при проектировании состава высококачественного бетона. Суть этого определения состоит в нахождении экспериментальным путем минимального процента дисперсного армирования. Известно, что микрофибра незначительно влияет на прочностные характеристики при расходе меньше минимального процента дисперсного армирования. При более высоких расходах микрофибры наблюдается повышение прочности на растяжение.

Растворная смесь с водо-цементным отношением, соответствующим водо-цементному отношению бетонной смеси, может быть выбрана в качестве исходной смеси для экспериментального определения оптимального расхода микрофибры. Минимальный процент армирования бетона микрофиброй определяется с использованием такой растворной смеси.

Образцы без микрофибры, а также с микрофиброй по трем способам введения микрофибры, были изготовлены. График зависимости «прочность на растяжение при изгибе – объемное содержание микрофибры (процент армирования)» был построен по результатам испытаний образцов-балочек. Положение точки, которой соответствует значение минимального процента армирования, определялось с графика. Прирост прочности на растяжение наблюдался при значениях превышающих минимальный процент армирования. В данном эксперименте растворная смесь с водо-цементным отношением, равным 0,3, была выбрана в качестве исходной смеси, подвижность смеси регулировалась суперпластификатором. Минимальный процент армирования бетона микрофиброй определялся с использованием такой растворной смеси. Зависимости «прочность на растяжение при изгибе – объемное содержание волокон (процент армирования)» для

различных способов введения микрофибры представлены на рисунке. Положение точки, которой соответствует значение минимального процента армирования, определяется с графика. Значительный прирост прочности на растяжение при изгибе наблюдается при значениях соответствующих минимальному проценту армирования, который для смеси с водо-цементным отношением, равным 0,3, составил 0,31%; 0,57% и 0,42% соответственно для 1-го, 2-го и 3-го способа введения микрофибры.

Как видно с рисунка, для каждого способа введения существует минимальное объемное содержание микрофибры, соответствующее значительному приросту прочности на растяжение при изгибе. С увеличением этого значения прирост прочности незначителен или практически отсутствует. Это можно объяснить неравномерным распределением микрофибры при данном способе ее введения и образованием комков на уровне макроструктуры.

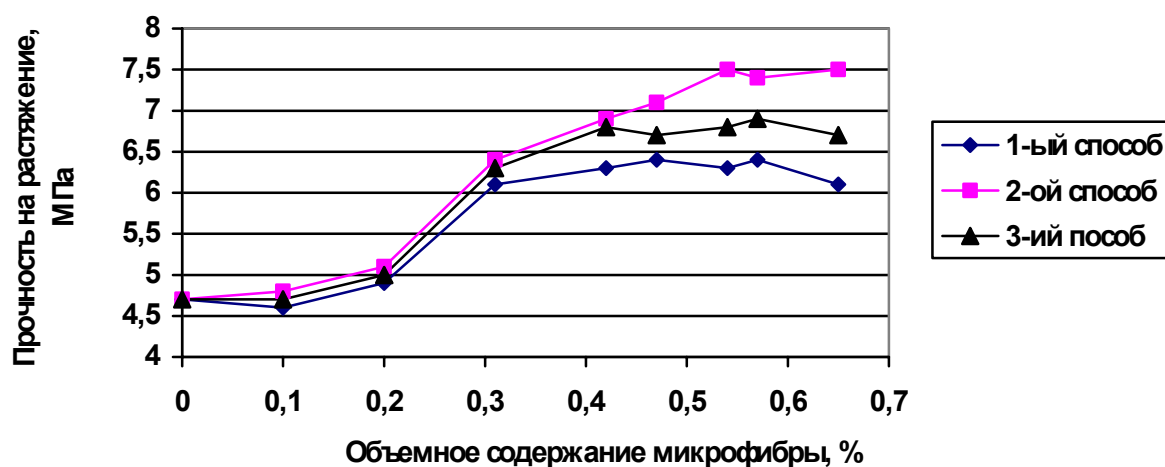


Рисунок – Зависимость прочности бетона на растяжение при изгибе от объемного содержания микрофибры при различных способах введения микрофибры

Эффективность дисперсного армирования полипропиленовой микрофиброй во многом зависит от взаимодействия микрофибры и цементного камня на границе раздела фаз. Прочность сцепления микрофибры и цементного камня определяет характер разрушения дисперсноармированного бетона. При всех исследованных расходах армирования в первую очередь разрушался цементный камень. Затем разрушение происходило в результате выдергивания полипропиленовой микрофибры из цементной матрицы после нарушения связи на границе раздела фаз и последующего разрыва полипропиленовой микрофибры при максимальных напряжениях. При этом дисперсноармированный бетон покрывался сетью микротрещин при расходе микрофибры, превышающем 0,6%.

Заключение

Рассмотрено дисперсное армирование полипропиленовой микрофиброй для повышения предела прочности на растяжение при изгибе бетона. Исследованы различные способы введения микрофибры в смесь. По первому способу микрофибра вводилась в сухие компоненты, затем все сухие компоненты перемешивались в сухом виде в течение 0,5 мин., затем вводилась вода затворения с суперпластификатором. По второму способу, в сухие компоненты вводилась вода затворения с суперпластификатором, затем микрофибра. По третьему способу, в сухие компоненты вводилась вода затворения в количестве 70% от общей массы воды, затем микрофибра, затем вода затворения в количестве 30% с суперпластификатором. Установлено, что значительный прирост прочности на растяжение при изгибе наблюдается при значениях соответствующих минимальному проценту

армирования, который для смеси с водо-цементным отношением, равным 0,3, составил 0,31%; 0,57% и 0,42% соответственно для 1-го, 2-го и 3-го способа введения микрофибры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрова Т.М., Смирнова О.М., Фролов С.Т. Свойства пластифицированных композиций портландцемент-доменный шлак с учетом электроповерхностных явлений // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 2. С. 118-123.
2. Смирнова О.М., Макаревич О.Е. Расход и дисперсность молотого известняка для самоуплотняющегося бетона // Цемент и его применение. 2014. № 4. С. 76-78.
3. Смирнова О.М. Высококачественные бетоны для предварительно напряженных железобетонных подрельсовых конструкций: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.05 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург, 2013.
4. Смирнова О.М., Макаревич О.Е. Выбор водоредуцирующих добавок и их расходов для высокопрочных бетонов сборных конструкций // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4. С. 74-77.
5. Smirnova O. Obtaining the high-performance concrete for railway sleepers in Russia // Procedia Engineering 12. "Modern Building Materials, Structures and Techniques" 2017. С. 1039-1043.
6. Беленцов Ю.А., Смирнова О.М., Шаманина Д.Д. Самоуплотняющийся бетон с использованием наполнителя из молотого известняка / СТРОИТЕЛЬСТВО-2016. Материалы II Брянского международного инновационного форума. Брянск, 2016. С. 22-25.
7. Smirnova O.M. Compatibility of portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers in high-strength concrete for precast constructions // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 6 (66). С. 12-22.
8. Смирнова О.М. Использование минерального микронаполнителя для повышения активности портландцемента // Строительные материалы. 2015. № 3. С. 30-33.
9. Смирнова О.М. Зависимость прочности бетона с добавками на поликарбоксилатной основе от свойств портландцемента после низкотемпературной тепловлажностной обработки // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 9 (645). С. 20-27.

REFERENCES

1. Petrova T.M., Smirnova O.M., Frolov S.T. *Svoystva plastifitsirovannykh kompozitsiy portlandtsement-domennyiy shlak s uchetom elektropoverhnostnykh yavleniy* [Properties of plasticized compositions of Portland cement-blast furnace slag]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2011. No. 2, pp. 118-123.
2. Smirnova O.M., Makarevich O.E. *Rashod i dispersnost molotogo izvestnyaka dlya samouplotnyayushegosya betona* [Consumption and dispersion of ground limestone for self-compacting concrete]. *Tsement i ego primeneniye*. 2014. No. 4, pp. 76-78.
3. Smirnova O.M. *Vyisokokachestvennyie betonyi dlya predvaritelno napryazhennykh zhelezobetonnykh podrelsovykh konstruksiy* [High-performance concrete for prestressed concrete of rail structures: abstract of diss. dr.]. Sankt-Peterburg, 2013.
4. Smirnova O.M., Makarevich O.E. *Vyibor vodoredutsiruyuschih dobavok i ih rashodov dlya vyisokoprochnykh betonov sbornyykh konstruksiy* [The choice of water-reducing admixtures and their amount for precast concrete] / *Resursoenergoeffektivnyie tehnologii v stroitelnom komplekse regiona*. 2014. No. 4, pp. 74-77.
5. Smirnova O. Obtaining the high-performance concrete for railway sleepers in Russia. *Procedia Engineering* 12. "Modern Building Materials, Structures and Techniques", 2017, pp. 1039-1043.



6. Belentsov Yu.A., Smirnova O.M., Shamanina D.D. *Samouplotnyayuschiyasya beton s ispolzovaniem napolnitelya iz molotogo izvestnyaka* [Self-compacting concrete with filler of ground limestone]. *STROITELSTVO-2016. Materialy II Bryanskogo mezhdunarodnogo innovatsionnogo foruma*. Bryansk, 2016, pp. 22-25.

7. Smirnova O.M. Sompatibility of portland cement and polycarboxylate-based superplasticizers in high-strength concrete for precast constructions. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*. 2016. No. 6 (66), pp. 12-22.

8. Smirnova O.M. *Ispolzovanie mineralnogo mikronapolnitelya dlya povyisheniya aktivnosti portlandtsementa* [The use of mineral filler to increase the activity of Portland cement]. *Stroitelnyie materialy*. 2015. No. 3, pp. 30-33.

9. Smirnova O.M. Zavisimost prochnosti betona s dobavkami na polikarboksilatnoy osnove ot svoystv portlandtsementa posle nizkotemperaturnoy teplovlazhnostnoy obrabotki [The dependence of the concrete strength with polycarboxylate-based admixture on the Portland cement properties under low-temperature heat-steaming]. *Izvestiya vyisshih uchebnyih zavedeniy. Stroitelstvo*. 2012. No. 9 (645), pp. 20-27.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Смирнова Ольга Михайловна

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство горных предприятий и подземных сооружений», Строительный факультет

E-mail: smirnovaolgam@rambler.ru

Smirnova Olga Mikhailovna

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, PhD., Assoc.Prof. of Department of Constructing Mining Enterprises and Underground Structures,

E-mail: smirnovaolgam@rambler.ru

Корпаш Роман Викторович

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия, студент кафедры «Строительство горных предприятий и подземных сооружений», Строительный факультет

E-mail: korposh.roman@yandex.ru

Korposh Roman Victorovich

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, Student of Department of Constructing Mining Enterprises and Underground Structures,

E-mail: korposh.roman@yandex.ru

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:
199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2, Санкт-Петербургский горный университет, кафедра «Строительство горных предприятий и подземных сооружений»,

Смирновой О.М.
Тел.+7(905)2826022