



УДК 691.328

И.В. Боровских – ассистент

В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор

Тел.: (843) 510-47-32

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНОВ

АННОТАЦИЯ

Выявлены закономерности и количественные зависимости снижения длины базальтового моноволокна при его совместном смешении-помоле с портландцементом и суперпластификаторами, при изготовлении композиционного вяжущего. Установлено положительное влияние различных пластификаторов на сохраняемость длины волокна при этом процессе и повышение прочности твердеющего вяжущего.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: базальтовое волокно, распределение волокна по длине, фибровое армирование.

I.V. Borovskikh – assistant

V.G. Khozin – doctor of technical sciences, professor

Tel.: (843) 510-47-32

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

CHANGE OF LENGTHS OF BASALT FIBERS AT ITS DISTRIBUTION IN COMPOSITE KNITTING HIGH-STRENGTH FINE-GRAINED BASALT FIBER CONCRETE

ABSTRACT

Laws and quantitative dependences of decrease in length of a basalt bonfibre are revealed at its joint mixture-grinding with Portland cement and super softeners, at manufacturing of the composite knitting. Positive influence of various softeners on a fiber keeping is established at this process.

KEYWORDS: fiber distribution on length, basaltic fiber, fiber re-enforcement.

Растущая погрешность в высокопрочных бетонах обусловлена двумя факторами: во-первых, увеличением нагрузок на несущие и особенно пролетные конструкции высотных зданий, в которых тяжелый бетон классов В30-В50 уже не удовлетворяет конструктивным требованиям. К примеру, при возведении каркасов башен комплекса «Федерация», Москва-Сити, высотой 280 и 340 м применялся бетон классов В80-90 общим объемом 86 тыс. м³. Второй фактор – рост цен на все сырьевые материалы железобетона – выдвигает новый принцип бетонного строительства: «Экономить не цемент в бетоне, а бетон в конструкции». А это возможно только за счет уменьшения поперечных сечений несущих элементов, благодаря существенному росту прочности в них.

Однако применение высокопрочных бетонов влечет за собой ряд трудностей и рисков. Так, например, мелкозернистый бетон имеет недостаточную прочность на растяжение при изгибе, ее рост «отстает» от роста прочности на сжатие. К тому же высокопрочные бетоны требуют повышенного

расхода цемента, что влечет за собой рост усадочных деформаций и внутренних напряжений, накопление микродефектов, увеличивающих опасность хрупкого разрушения конструкций.

В связи с этим привлекает внимание базальтовое волокно, практически еще не применяемое в бетонах. По прочности оно превосходит сталь и обладает за счет малого диаметра волокон (10 мкм) гораздо большей удельной поверхностью сцепления с цементным камнем, чем стальное, имея с ним химическое сродство. При этом относительное удлинение при разрыве базальтовой фибры в два раза ниже, чем стальной, что позволяет ей более эффективно препятствовать образованию микротрещин в бетоне при нагружении.

Известной технологической проблемой всех фибробетонов является трудность равномерного распределения волокон в объеме цементного теста и бетона [1]. Стальная фибра образует так называемые «ежи», другие волокна агрегаты или комки, состоящие из хаотически переплетенных волокон и частиц цемента.



Таблица 1

Изменение длины волокон в зависимости от среды помола

| Наименование | Кол-во БВ в 0,1 гр. гот. смеси, шт. | Кол-во БВ в % от общего количества | | | | |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| | | $l = 7-9$ мм | $l = 5-7$ мм | $l = 3-5$ мм | $l = 1-3$ мм | $l = 1-0,5$ мм |
| П (кварц. песок) | 322 | 4 | 12 | 17 | 24 | 43 |
| П+С-3 (1 %) | 587 | 12 | 19 | 26 | 22 | 21 |
| Ц (цемент) | 623 | 19 | 27 | 31 | 16 | 7 |
| Ц+С-3 (1 %) | 712 | 21 | 28 | 26 | 17 | 8 |

Таблица 2

Содержание волокна в зависимости от среды помола

| Наименование | Число волокон (шт.) и массового содержания (гр ⁻⁴) в 0,1 гр. гот. смеси | | | | | | Потери (в масс. %) волокна при помоле |
|--------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------------|
| | $l = 7-9$ мм | $l = 5-7$ мм | $l = 3-5$ мм | $l = 1-3$ мм | $l = 1-0,5$ мм | Итого | |
| П | 13 2,15 | 39 4,85 | 54 1,7 | 77 1,21 | 139 1,08 | 322 12,0 | 60 |
| П+С-3 (1 %) | <u>70</u> 4,40 | <u>112</u> 5,28 | <u>153</u> 4,80 | <u>129</u> 2,03 | <u>123</u> 0,97 | <u>587</u> 17,5 | 42 |
| Ц | 118 7,42 | 168 7,92 | 193 6,05 | 100 1,57 | 44 0,35 | 623 23,31 | 22 |
| Ц+С-3 (1 %) | <u>150</u> 9,43 | <u>199</u> 9,38 | <u>185</u> 5,90 | <u>121</u> 1,90 | <u>57</u> 0,45 | <u>712</u> 27,06 | 9 |

Примечание: Исходное число волокон длиной 9 мм в 0,1 гр. смеси составляет 450 шт. ($30 \cdot 10^{-4}$ гр). К потерям относится волокно, измельченное до длины менее 0,5 мм

Нами были опробованы различные способы введения базальтовой фибры в цементное тесто. Лучшим оказался способ предварительного изготовления сухой смеси цемента с волокном путем кратковременного (50-60 с) смешения с домолом в мельнице: пружинной или шаровой [2].

Использовалось базальтовое моноволокно диаметром 10 мкм из рубленного на отрезки базальтового ровинга (комплексной нити из непрерывного базальтового волокна) производства ООО «Каменный век» (г. Дубна). Средняя длина составляла 9 мм.

Равномерность распределения базальтового волокна зависит не только от способа смешения с другими компонентами сухой смеси, но и от их абразивности (табл. 1).

После смешения-измельчения в течение 40-70 с в пружинной мельнице из полученной смеси производилась аналитическая выборка 10 навесок по 0,1 г, в соответствии с [3]. Для каждой навески производился прямой подсчет количества волокон.

Как видно из табл. 1, наибольшая сохраняемость волокна обеспечивается при совместном помоле с

цементом в присутствии суперпластификатора С-3: при этом остается большая доля волокон с интервалом длины 3-9 мм, а потери волокна (9 %) – наименьшие (табл. 2).

При смешении-помоле базальтового волокна совместно с кварцевым песком потери волокна по отношению к массе изначально введенного составляют 60 %. Это объясняется большей твердостью зерен песка (7-по шкале Маоса) и относительно большим размером зерен в сравнении с базальтовым волокном (6-по шкале Маоса). Добавление суперпластификатора несколько улучшает сохраняемость, однако потери превышают 40 %, что значительно снижает эффект упрочнения при растяжении бетона.

Обобщенные результаты оценки изменения длины базальтового волокна при смешении-помоле с разными компонентами представлены на гистограммах рис. 1.

Здесь следует отметить, что согласно [4], дисперсное армирование бетона эффективно при отношении длины волокна к его диаметру $l/d > 50$. Волокна длиной менее 0,5 мм имеют отношение длины к диаметру менее указанного $l/d < 50$, поэтому эти

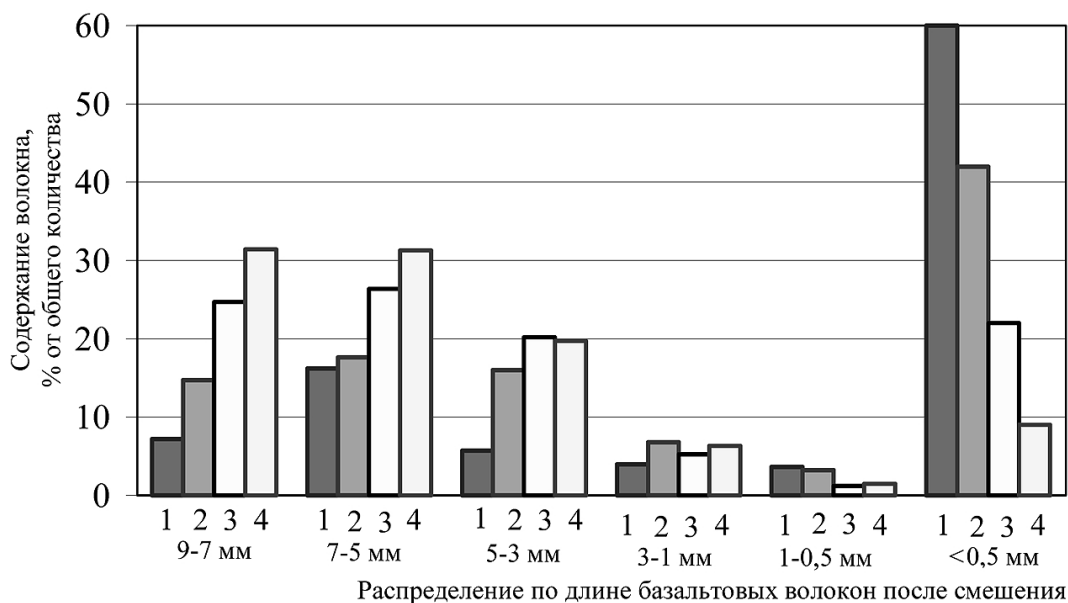


Рис. 1. Распределение по длинам базальтового волокна после 50 с смешения-помола в пружинной мельнице с разными сухими компонентами: 1 – кварцевый песок; 2 – Ц+С-3 (1 %); 3 – цемент; 4 – Ц+С-3 (1 %)

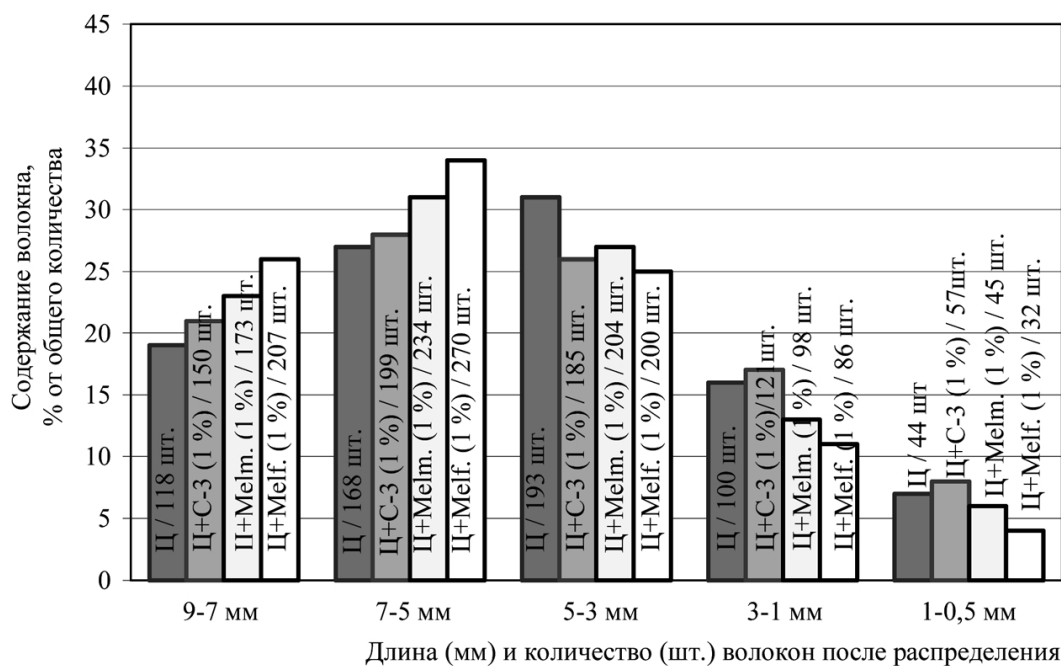


Рис. 2. Распределение длины базальтовых волокон при смешении-помоле в присутствии различных суперпластификаторов

волокна отнесены нами к потерям для дисперсного армирования.

Большая сохраняемость по длине базальтового волокна (потери при смешении не более 9 % по массе от изначально вводимого количества) обеспечивается при добавлении в цемент при смешении 1 % по массе суперпластификатора. 75 % изначально вводимого базальтового волокна при смешении остается в интервале от 9 до 3 мм, что на 23 % больше, чем при распределении с чистым цементом.

Суперпластификатор при смешении-помоле играет роль смазки, покрывающей часть поверхности как частиц цемента, так и базальтового волокна. Происходящие при смешении-помоле явления подобны тем, что наблюдаются в технологии получения вяжущих низкой водопотребности. Вводимый при помолу суперпластификатор позволит снизить водопотребность дисперсноармированной цементной смеси и значительно повысить прочность конечного композиционного вяжущего.

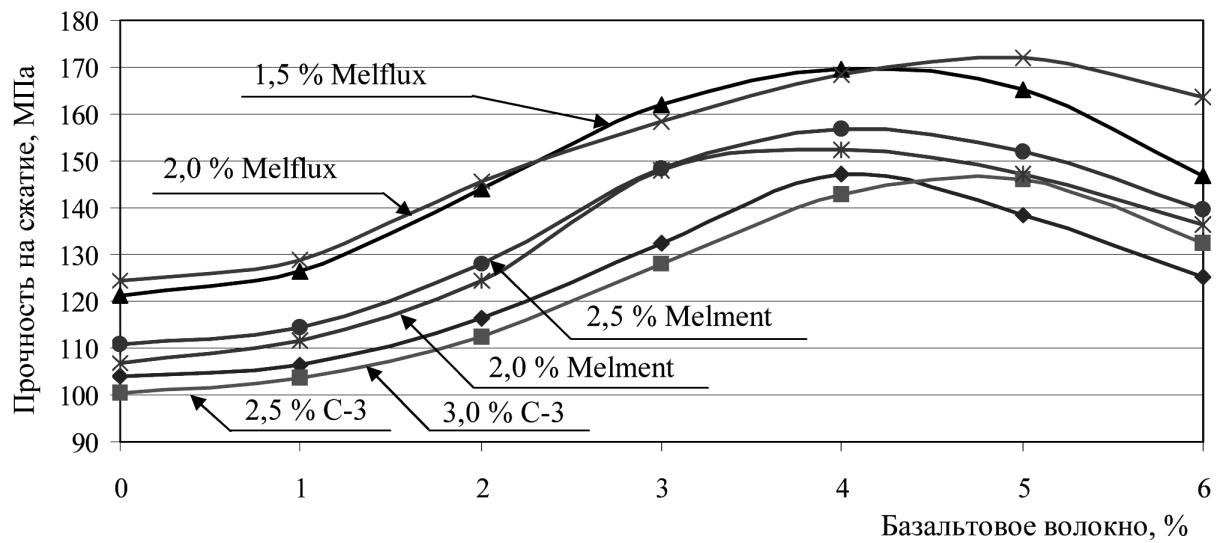


Рис. 3. Прочность при сжатии ЦК (28 сут.), армированного базальтовым волокном, в присутствии различных суперпластификаторов

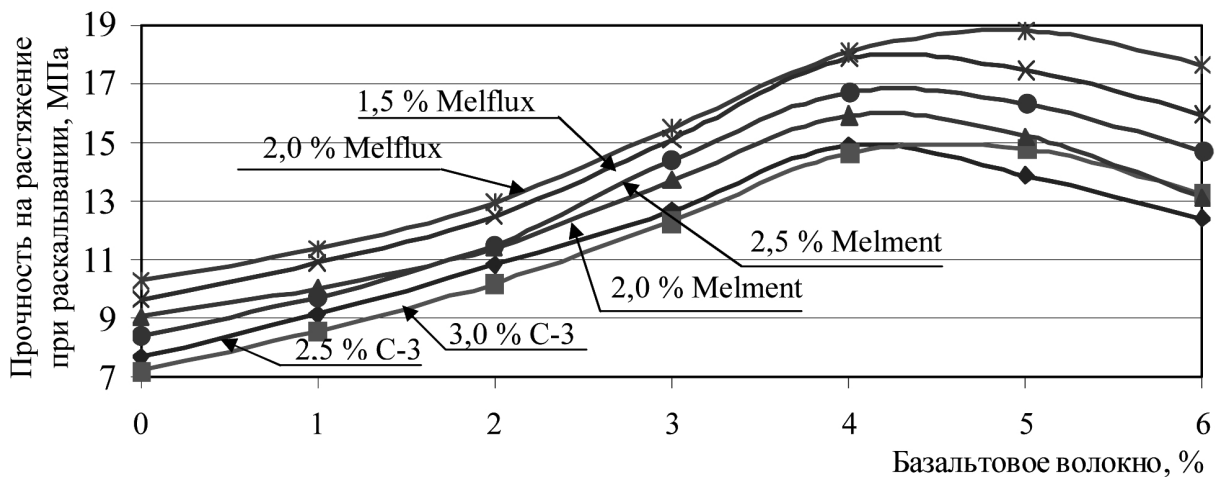


Рис. 4. Прочность на растяжение при раскалывании ЦК (28 сут.), армированного базальтовым волокном, в присутствии различных суперпластификаторов

Оценка влияния добавления различных суперпластификаторов на изменение длины волокон и их количество при распределении с цементом представлены на рис. 2.

При совместном помолу базальтового волокна с цементом и суперпластификаторами (как показано на рис. 2) наилучший результат показал состав с добавлением 1 % Melflux 2651F. Время распределения по отношению к бездобавочной среде сократилось на 30 %. Сохраняемость волокна составила 96 %. Содержание волокна при распределении с Melflux 2651F в интервале длин от 9 до 3 мм составляет 75 %, что благоприятно сказывается на прочности как при сжатии цементного камня (рис. 3), так и на растяжении при раскалывании (рис. 4) гораздо в большей степени, чем при добавлении других суперпластификаторов.

Исследование зависимостей прочностных показателей от содержания в вяжущем базальтового волокна и различных суперпластификаторов выявило их наилучшие соотношения, при которых каждой дозировке волокна соответствует определенное количество суперпластификатора.

Лучшие прочностные показатели проявил состав с 2 % суперпластификатора Melflux и 5 % БВ. Упрочнение волокном «пластифицированного» цементного камня на сжатие составило 65 %. Упрочнение при раскалывании составляет 220 %. При этом упрочнение при «чистом» растяжении (раскалывании ЦК) почти в 4 раза превышает упрочнение при сжатии.

При добавлении 1,5 % Melflux и четырех 4 % базальтового волокна результаты упрочнения ниже



максимальных на 3 % на сжатие и 5 % на растяжение при раскалывании, соответственно.

Видно, что и другие пластификаторы оказывают благоприятное воздействие на увеличение прочности цементного камня, содержащего базальтовое волокно. При увеличении содержания базальтового волокна увеличивается и доля пластификаторов, позволяющая получить максимальную прочность, что выражается в экстремальных зависимостях графиков.

Таким образом, установлен оптимальный способ введения базальтового волокна в модифицированное цементное вяжущее путем кратковременного (50-60 с) смешения всех компонентов (цемента, суперпластификатора и волокна) в мельнице, что обеспечивает не только равномерное распределение волокна в композиционном вяжущем, но и его механоактивацию. Предлагаемый способ позволяет увеличить прочность цементного вяжущего по сравнению с исходным при сжатии на 65 %, а при растяжении – в 2,2 раза путем комплексной его модификации суперпластификатором Melflux 2651F и тонким базальтовым волокном.

Литература

1. Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы, 2004, № 6. – С. 12-13.
2. Боровских И.В., Хозин В.Г. Особенности введения базальтового волокна в цементную матрицу // Материалы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008», том 1. – Воронеж, 2008. – С. 60-64.
3. ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».
4. Василик П.Г., Голубев И.В. Применение волокон в сухих строительных смесях // Строительные материалы, 2002, № 2. – С. 26-27.