УДК 691.327:666.97
Боровских И.В. – кандидат технических наук
E-mail: borigor@list.ru
Морозов Н.М. – кандидат технических наук
E-mail: nikola_535@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Повышение долговечности базальтовой фибры в цементных бетонах

Аннотация

Армирование цементных бетонов фиброй различного типа позволяет снизить усадочные деформации, повысить трещиностойкость и прочность на растяжение при изгибе. Одним из эффективных видов фибры является базальтовая, при введении которой прочность бетона на изгиб увеличилась в 2,2 раза, а прочность на сжатие в 1,5 раза. Базальтовое волокно с течением времени теряет часть прочности, находясь в среде гидратирующегося портландцемента. Разрушение поверхности волокна происходит при взаимодействии его с выделяющейся в процессе твердения гидратной известью. Для повышения стойкости фибры в состав цементного бетона дополнительно вводили микрокремнезем. В результате снижается pH водной вытяжки на 28 сутки твердения относительно состава без микрокремнезема на 3 %, что говорит о снижении в системе содержания CaO и лучшей сохраняемости базальтового волокна.

Ключевые слова: базальтовая фибра, цементный бетон, щелочная стойкость, микрокремнезем.

Растущая потребность 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. Пример тому возведение каркасов башен комплекса «Федерация», Москва-Сити, высотой 280 и 340 м, для которых применялся бетон классов В80-90 общим объемом 86 тыс. м^3. Второй фактор – рост цен на все сырьевые материалы железобетона, который 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, связанных с их недостаточной прочностью при изгибе, значительными усадочными деформациями и низкой трещиностойкостью, увеличивающей опасность хрупкого разрушения конструкций.

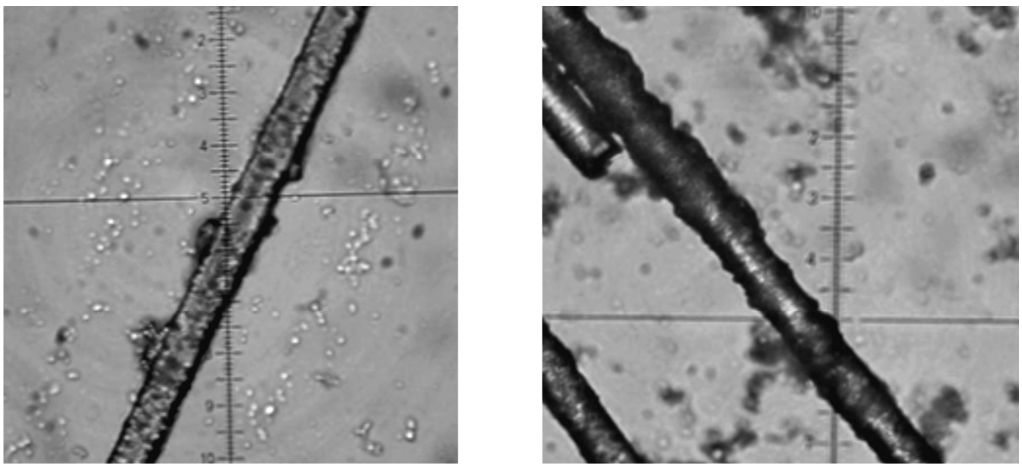
Устранить эти недостатки высокопрочных бетонов можно с помощью фибры. Чаще всего в цементных бетонах применяется стальная фибра длиной от 2 до 4 см, диаметром 0,7-1 мм при рекомендуемых коэффициентах армирования 2,5-4 % от массы бетона [1]. Однако ее потенциал полностью не реализуется, ввиду малой удельной поверхности стальной фибры, невысокой адгезии к ней цементного камня и недостаточной прочности самого бетона, приводящей к «продергиванию» фибр при его разрушении.

В связи с этим привлекает внимание базальтовое волокно [2], почти не применяемое в цементных бетонах. По прочности оно превосходит сталь и обладает за счет малого диаметра волокон (9-12 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.

Проведенные нами исследования по применению базальтового волокна в мелкозернистых бетонах [3] показали эффективность его применения. Так, при введении 4 % базальтового волокна прочность бетона на изгиб увеличилась в 2,2 раза, а прочность на сжатие в 1,5 раза. Следует обратить внимание на упрочнение при «чистом» растяжении (раскалывании образцов ЦК), которое в 4,5 раза превышает упрочнение при сжатии. Однако

стоит отметить, что возможность использования базальтового волокна в цементных системах во многом зависит от стойкости волокон к действию продуктов гидратации цемента.

В связи с этим стойкость непрерывного базальтового волокна была проверена путем выдержки его в насыщенном растворе извести в течение 3 лет, а также кипячением в течение 4 часов в этом растворе, которое, по данным Пащенко [4], эквивалентно 10 годам нахождения в цементном бетоне (рис. 1).



а) б)

Рис. 1. Микрофотографии базальтовых волокон (х1000): непрерывное волокно
а) после 3-х летней выдержки в насыщенном растворе $Ca(OH)_2$;
б) после 4-х часового кипячения в насыщенном растворе $Ca(OH)_2$

Из рис. 1 видно, что в результате выдержки базальтового волокна в течение 3 лет в насыщенном растворе $Ca(OH)_2$ на поверхности волокна протяженность участков новообразований по отношению к общей длине рассматриваемой части волокна составляет примерно 12 %. На участке базальтового волокна, подвергнутого 4-х часовому кипячению в насыщенном растворе $Ca(OH)_2$ (рис. 1), протяженность новообразований составляет примерно 15 % от общей длины рассматриваемого фрагмента волокна. Интенсивность взаимодействия базальтового волокна с цементной матрицей имеет затухающий характер, поскольку на поверхности волокна образуется слой нерастворимых гидросиликатов, препятствующих развитию коррозии волокна.

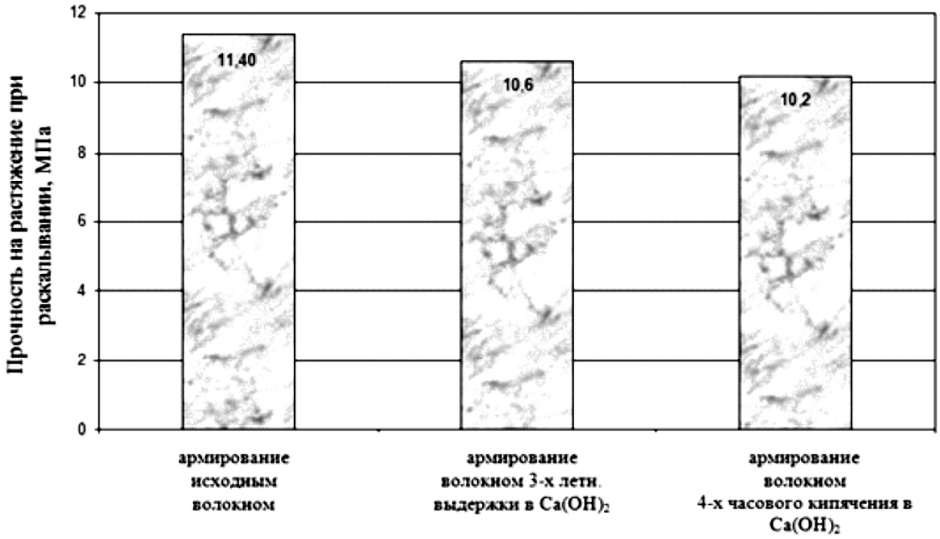


Рис. 2. Прочность цементного камня
в возрасте 28 суток нормально-влажностных условий хранения,
на растяжение при раскалывании с волокном, выдержанным в щелочной среде

Результаты испытания на прочность при раскалывании цементного камня, армированного волокном, подвергнутым кипячению в известковом растворе, выдержанном в этом растворе в течение 3-х лет и исходным показано на рис. 2.

Как видно из рис. 2, прочность цементного камня на растяжение при раскалывании с одинаковым содержанием базальтового волокна в составах (3 %) показывает, что состав с волокном, выдержанным в течение 3-х лет в насыщенном растворе извести, показал прочность 10,6 МПа. Это лишь на 6 % уступает контрольному составу с исходным волокном, прочность которого составила 11,4 МПа на 28 сутки хранения при нормально-влажностных условиях. Прочность состава, армированного базальтовым волокном, прокипяченным в течение 4-х часов в насыщенном растворе извести, составила 10,2 МПа, что уступает прочности контрольного образца с волокном, не подвергнутым предварительному воздействию насыщенного раствора извести, на 10 %.

Как показано выше, базальтовое волокно с течением времени теряет часть прочности, находясь в среде гидратирующегося портландцемента. Разрушение поверхности волокна происходит при взаимодействии его с выделяющейся в процессе твердения гидратной известью. Таким образом, вводя активные пуццолановые добавки, способные связывать образующийся $Ca(OH)_2$, можно снизить опасность разрушения базальтового волокна в среде твердеющего цемента.

Как известно из литературы [5], при протекании реакций гидратации известь выделяется лишь при взаимодействии минералов алита и белита с водой. Реакция алита при гидратации портландцемента, по Волженскому А.В., имеет следующий вид:

$2[3CaO \cdot SiO_2] + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2$;

Получаем, что из 100 г алита выделяется при гидратации 48,7 г $Ca(OH)_2$.

Реакция белита имеет по [6] следующий вид:

$2[2CaO \cdot SiO_2] + 3H_2O \rightarrow 3{,}3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 2{,}3H_2O + 0{,}7Ca(OH)_2$;

Получаем, что из 100 г белита выделяется при гидратации 15,3 г $Ca(OH)_2$.

Известно, что в портландцементе Вольского цементного завода алита содержится 62 %, а белита – 17 %. Таким образом, получаем из 100 г цемента из алита выделяется 48,7·0,62=30,2 г, а из белита 15,3·0,17=2,6 г гидратной извести.

Суммарное выделение извести при условии 100 % гидратации цемента равно 32,8 г.

По данным Баженова Ю.М. [2], степень гидратации алита на 28 сутки твердения цементного камня составляет 73 %, а белита – 48 %. Дальнейший процесс гидратации происходит гораздо медленнее и за 180 суток степень гидратации с 73 % увеличивается лишь до 74 %. Таким образом, количество выделяемой гидратной извести из алита на 28 сутки нормальных условий твердения соответствует:

- для алита, 30,2·0,73=22 г;
- для белита, 2,6·0,48=1,2 г.

Суммарное выделение гидратной извести на 28 сутки нормально-влажностных условий хранения цементного камня равно 23,2г.

Химическая основа действия активных минеральных добавок заключается в связывании входящего в состав вяжущего или образующегося в процессе твердения гидроксида кальция. В качестве добавок были взяты: молотый кварцевый песок с удельной поверхностью 600 $м^2$/кг, микрокремнезем МК-85 ($S_{уд}$=47000$м^2$/кг), Силином-ДБС (18500 $м^2$/кг). Активность добавок определяли по поглощению CaO из раствора (рис. 3).

Как видно из рис. 3, наиболее эффективным наполнителем по отношению к поглощаемому CaO является микрокремнезем МК-85. В течение 28 суток 1 г МК-85 связывает 0,45 г CaO, либо в пересчете на $Ca(OH)_2$ – 0,7 г. Наиболее близка к нему по активности добавка «Силином-ДБС». В течение 28 суток 1 г Силинома вступает в реакцию с 0,43 г CaO, либо в пересчете на $Ca(OH)_2$ – 0,67 г. Химическая же активность базальтового волокна в десятки раз ниже, за этот срок оно способно связать лишь 0,019 г CaO, либо в пересчете на $Ca(OH)_2$ – 0,3 г.

Таким образом, скорость выделения и связывания $Ca(OH)_2$ при гидратации 100 г портладцемента будет иметь вид, показанный на рис. 4. Количество базальтового волокна принято в объеме 4 % от массы цемента, как максимально возможная дозировка, которая определяется из предположения о наилучшем распределении его в среде цемента.

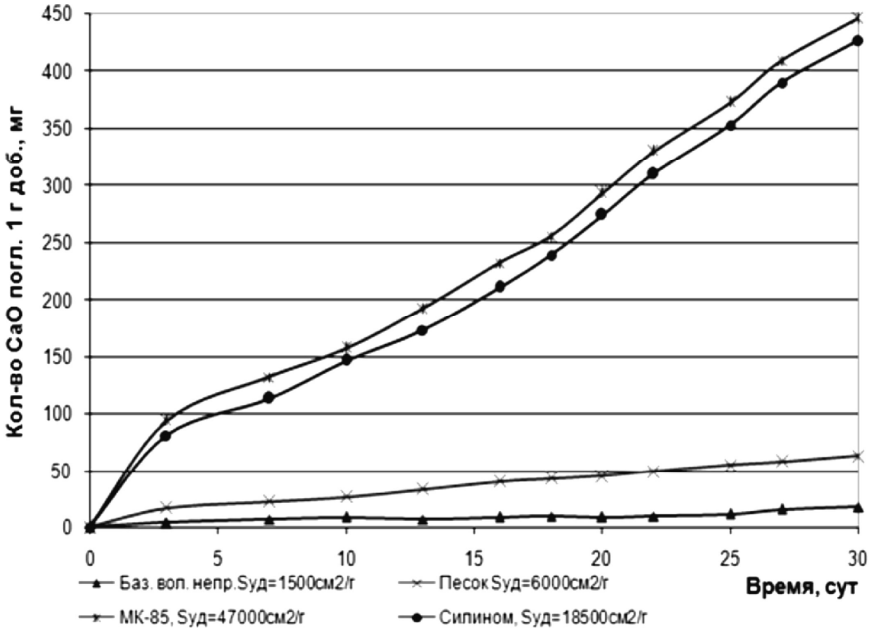


Рис. 3. Активность минеральных добавок по поглощению CaO из насыщенного раствора

Как видно из рис. 4, при добавлении в портландцемент 10 % микрокремнезема несвязанная известь находится в системе не более 7 суток в объеме до 5 г на 100 г исходного портландцемента. В дальнейшие сроки твердения портландцемента вся выделяемая в процессе гидратации известь связывается микрокремнеземом, как более активной минеральной добавкой. Практически та же картина наблюдается и при добавлении добавки Силином-ДБС. Волокно за промежуток времени в 7-9 дней вступает в реакцию с 16 мг $Ca(OH)_2$, при условии что волокна в системе находится 4 % от массы цемента, т.е. 4 г.

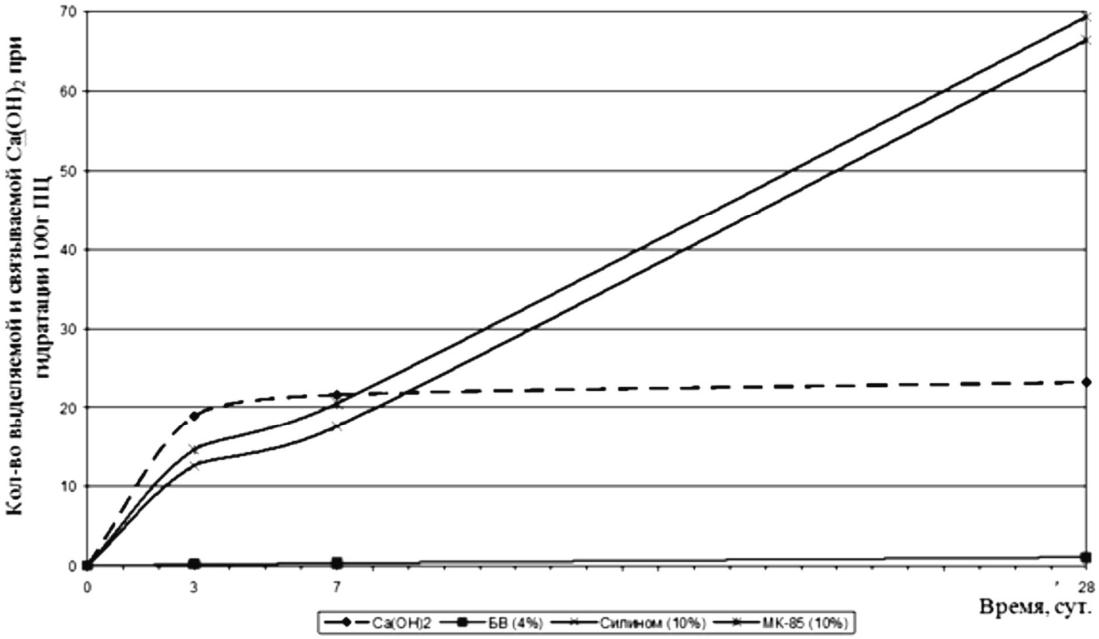


Рис. 4. Количество выделяемой и связываемой извести при гидратации 100г ПЦ

Полученные расчетные данные были проверены измерением pH-среды водной вытяжки цементного камня (табл.). Из табл. видно, при введении в цементное тесто 10 % микрокремнезема pH среды снижается более значительно и, как предполагалось расчетом, максимальное значение, равное 12,02, приходится на 7 сутки твердения цементного камня. На 28 сутки твердения цементного камня pH водной вытяжки составляет 11,96, что ниже pH среды на 7 сутки.

Таблица

Изменение pH водной вытяжки цементной системы

№ п/п	Состав цементной системы	Время твердения, суток			
		1	3	7	28
1	ПЦ	12,22	12,27	12,29	12,3
2	ПЦ+МК-85	11,95	11,98	12,02	11,96
3	ПЦ+БВ	12,16	12,22	12,26	12,27
4	ПЦ+МК-85+БВ	12,96	12,0	12,0	11,95

Введение базальтового волокна в систему вызывает уменьшение pH раствора с 12,2 до 12,16 уже в первые сутки твердения. Это говорит о химическом взаимодействии базальтового волокна с продуктами гидратации портландцемента, т.е. идет химическая реакция CaO с SiO_2 с образованием гидросиликатов кальция.

Введение микрокремнезема в цементную систему снижает pH водной вытяжки на 28 сутки твердения относительно состава без микрокремнезема на 3 %, что говорит о снижении в системе содержания CaO и лучшей сохраняемости базальтового волокна. Это подтверждается отсутствием изменений в pH водных вытяжек составов с волокном и без волокна в составах, содержащих МК-85 на все сроки твердения цементного камня.

Таким образом, для повышения стойкости базальтового волокна в цементных системах эффективно использовать добавку микрокремнезема, которая позволяет снизить количество свободной извести в среде гидратирующего цемента.

Список литературы

1. Комохов П.Г. О бетоне XXI века // Вестник РААСН, 2001, № 5. – С. 9-12.
2. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси. Часть I: Справ. / В.В. Бабков, Ю.М. Баженов, А.А. Быкова и др. / Под ред. П.Г. Комохова – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 804 с.
3. Боровских И.В., Хозин В.Г. Исследование влияния способов введения базальтового короткорубленного волокна на прочностные характеристики мелкозернистого бетона // Строительный комплекс России: Наука, образование, практика: Материалы Международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2008. – С. 27-31.
4. Пащенко А.А., Сербин В.П. Армирование цементного камня минеральным волокном. – Киев: УкрНИИНТИ, 1970. – 45 с.
5. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
6. Пащенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. Вяжущие материалы. 2-е изд. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 440 с.

Borovskikh I.V. – candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: borigor@list.ru
Morozov N.M. – candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: nikola_535@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Increase of durability of basalt fiber cement concretes

Resume

The application of the cement concretes fibers of different types allows you to significantly increase their physical-mechanical characteristics. Basalt fiber exceeds steel

on the strength and due to the small diameter of a fiber has a much greater specific surface adhesion of the cement stone, than steel having chemical affinity with him.

However, the possibility of the use of basalt fiber in cement systems in many respects depends on the resistance of fibers to the action of the products of the cement hydration. The destruction of the fiber surface occurs when interacting with its face in the process of hardening of hydrated lime. Therefore it is suggested to reduce the number of CaO in the cement system and, consequently, increase resistance of basalt fiber.

When you add in cement 10 % micro silica untied lime stays in the system of not more than 7 days in the amount of up to 5 g per 100 g of the source of Portland cement. The introduction of micro silica in the cement system reduces the pH of aqueous extract concerning the composition without micro silica to 3 %, which says about decreasing in the system of the content of the CaO, and better preservation of basalt fiber. This is confirmed by the absence of changes in the pH of the aqueous extracts of compounds with fibers and without fiber in formulations that contain MK-85 in all periods of hardening of cement stone.

Keywords: basalt fiber, cement, concrete, alkaline resistance, microsilica.

References

1. Komochov P.G. On the surface of the XXI century // Vestnik of RAASN. – M., 2001, № 5. – P. 9-12.
2. Cements, mortars, concretes, mortars and dry mixes. Part I: Ref. / V.V. Babkov, Y.M. Bazhenov A.A. Bykova, etc. / Under ed. P.G. Komochov. – SPb.: NPO «Professional», 2007. – 804 p.
3. Borovskich I.V., Khozin V.G. Study of the influence of methods of introduction of basalt fibers on the strength properties of fine-grained concrete // Building complex of Russia: Science, education, practice: Materials of the International scientifically-practical conference. – Ulan-Ude: Izd-vo ESSTU, 2008. – P. 27-31.
4. Paschenko A.A., Serbin V. Reinforcement of cement stone mineral fibers. – Kiev: UkrNIINTI, 1970. – 45 p.
5. Volgenskyi A.V. Mineral binders. – M.: Stroyizdat, 1986. – 464 p.
6. Paschenko A.A., Serbin V.P., Starshevskaya E.A. Astringent materials. 2-e Izd. – K.: Responsibilities of school. Head of publishing house, 1985. – 440 p.