

## Исследование влияния дисперсного армирования модифицированным базальтовым микроволокном на прочностные свойства цементного раствора

*Т.К. Белова, В.А. Гурьева, В.И. Турчанинов*

*Оренбургский государственный университет*

**Аннотация:** Рассматривается влияние дисперсного армирования модифицированным базальтовым микроволокном (МБМ) на прочностные свойства цементных растворов. Изучено влияние МБМ на прочностные свойства и подвижность растворных смесей различных составов с равным водоцементным отношением и растворных смесей нормальной консистенции. В результате ввода в состав масс модифицированной микрофибры получен искусственный камень с улучшенными прочностными характеристиками (предел прочности при изгибе и сжатии), что свидетельствует о целесообразности введения таких микроволокон в растворные смеси. Однако при этом значительно снижается подвижность смесей, что требует введения пластификатора. Результаты испытаний указывают на целесообразность применения модифицированной базальтовой микрофибры в строительном производстве как компонента при разработке высокопрочных тонкодисперсных отделочных и гидроизоляционных составов.

**Ключевые слова:** дисперсное армирование, модифицированная микрофибра, самоармирование цементного камня, прочностные свойства, нанодобавка.

В настоящее время дисперсное армирование бетонов и растворов волокнами продолжает получать все более широкое распространение [1, 2]. Номенклатура искусственных волокон-фибр весьма обширна, однако наиболее распространены по сравнению с другими четыре вида армирующих волокнистых материалов: стальные, стеклянные, базальтовые волокна и волокна на основе полипропилена. «Упрочнение бетонов и растворов данными волокнами основывается на предположении, что материал бетонной матрицы передает волокнам приложенную нагрузку посредством касательных сил, действующих на поверхности раздела» [3], следовательно, на эффективность дисперсного армирования оказывает влияние отношение модулей упругости материалов фибр по отношению к материалу матрицы.

В последнее время в связи с развитием нанотехнологий оформилось новое направление в дисперсном армировании бетонов и растворов -

динамическое дисперсное самоармирование цементного камня [4]. В отличие от традиционного метода дисперсного армирования волокнами данный метод основан на предположении, что введение в растворную смесь наномодифицированных дисперсно-упрочняющих заполнителей приводит к росту в составе цементного камня протяженных кристаллических структур длиной в сотни микрометров, что приводит к соответствующему упрочнению цементного камня на основе таких нанодобавок.

В качестве таких дисперсно-упрочняющих заполнителей могут служить базальтовая микрофибра, углеродные микроволокна, модифицированные фуллероидами, нанотрубками, астраленами и др. кластерами углерода. Данные кластеры являются разновидностями аллотропических модификаций углерода [5], которые при введении в растворную смесь играют роль зародышей структурообразования, наноармирующего элемента, центров зонирования новообразований в матрице [6].

Также в работах [7, 8] отмечается, что углеродные наноматериалы способны изменять микроструктуру минеральной цементной матрицы за счет увеличения содержания гидросиликатов кальция повышенной плотности и снижения пористости.

Таким образом, с одной стороны микрофибра сохраняет свои достоинства как удобный для дисперсного армирования материал, а с другой стороны, каждое отдельное волокно в процессе созревания бетона «разрастается» в направлении расположения этого конкретного волокна, усиливая эффекты дисперсного армирования [9].

Технология динамического дисперсного армирования бетонов и растворов является одним из возможных «нано» инструментов для создания высококачественных бетонов и растворов.

Целью работы явилось исследование прочностных свойств цементных растворов, армированных модифицированной микрофиброй. В качестве такой микрофибры применяли модифицированную базальтовую микрофибру (далее МБМ) производства ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий», ее основные параметры представлены в таблице 1.

Для изготовления цементных образцов в качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства ООО «Южно-уральская Горно-перерабатывающая Компания», соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия». В качестве мелкого заполнителя использован природный песок Архиповского месторождения, расположенного в Оренбургской области, отвечающий требованиям ГОСТ 8736 «Песок для строительных работ. Технические условия». Для регулирования свойств растворной смеси использовался суперпластификатор Sika ViscoCrete 20 Gold по ТУ 2493-009-13613997-2011. Для затворения смеси применялась питьевая вода, отвечающая требованиям ГОСТ 23732-79 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».

Таблица 1

Основные параметры МБМ

| № п/п | Параметр                                       | Значение   |
|-------|--|--|
| 1     | Средний диаметр волокна, мкм                   | 8-10   |
| 2     | Средняя длина волокна, мкм                     | 100-500  |
| 3     | Насыпная плотность, не более, т/м <sup>3</sup> | 0,45   |
| 4     | Влажность, не более, %                         | 2  |
| 5     | Органическая часть по массе, не более, %       | 2  |
| 6     | Цвет   | желто-коричневый   |
| 7     | Наномодификатор                                | астралены,<br>водорастворимые<br>аддукты углеродных<br>нанокластеров |

Прочностные свойства цементного раствора (предел прочности при изгибе и сжатии) определялись в соответствии с ГОСТ 310.4 – 81 «Цементы. Методы определения прочности при изгибе и сжатии». Подвижность растворной смеси оценивалась по диаметру расплыва стандартного конуса диаметром 100 мм.

С целью изучения влияния МБМ на прочностные свойства цементного раствора проведены лабораторные испытания четырех составов раствора с равным водоцементным отношением: контрольный (без МБМ и добавок); с МБМ; с добавкой суперпластификатора; с добавкой суперпластификатора и МБМ. Составы растворных смесей представлены в таблице 2.

Предел прочности при изгибе вычислялся как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытания трех образцов в возрасте 7 суток. Предел прочности при сжатии в соответствии с ГОСТ 310.4-81 вычислялся как среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытания 6 образцов. Предел прочности в возрасте 28 суток получен путем пересчета предела прочности в возрасте 7 суток по логарифмической зависимости.

Результаты испытаний образцов приведены в таблице 3.

Таблица 2

Составы растворных смесей

| № состава | В/Ц | цемент, части | песок, части | МБМ, % от массы вяжущего | Суперпластификатор, % от массы вяжущего |
|-----------|-----|---------------|--------------|--------------------------|---|
| 1         | 0,5 | 1             | 3            | 0                        | 0                                       |
| 2         | 0,5 | 1             | 3            | 1                        | 0                                       |
| 3         | 0,5 | 1             | 3            | 0                        | 1                                       |
| 4         | 0,5 | 1             | 3            | 1                        | 1                                       |

Анализ результатов исследований, представленных в таблице 3, показывает, что растворные образцы, армированные модифицированной

базальтовой микрофиброй (состав № 2), имеют повышенные прочностные свойства: прочность при изгибе повысилась на 8 %, а прочность при сжатии повысилась на 11 % по сравнению с контрольным составом без МБМ и добавок. Аналогично, сравнивая образцы с добавлением суперпластификатора (составы 3 и 4), можно сделать вывод о том, что прочность при сжатии армированных образцов повысилась на 7,4 %, однако прочность при изгибе понизилась на 3 %. Пониженная прочность 3 и 4 составов в сравнении с составами 1 и 2 объясняется избыточным количеством воды за счет повышения подвижности растворных смесей при вводе суперпластификатора.

Таблица 3

Результаты испытаний

| № состава | Предел прочности в возрасте 7 суток, кгс/см <sup>2</sup> |            | Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, кгс/см <sup>2</sup> | Диаметр расплыва конуса, мм |
|-----------|--|------------|--|-----------------------------|
|           | при изгибе   | при сжатии |  |                             |
| 1         | 70   | 257,2      | 437,24   | 109                         |
| 2         | 75,5   | 285        | 484,50   | 103                         |
| 3         | 69   | 228,4      | 388,28   | 155                         |
| 4         | 67   | 245,2      | 416,84   | 144                         |

В исследованиях также была определена подвижность растворных смесей. Результаты испытаний показали, что при введении МБМ в массы значительно снижается их подвижность (таблица 3). Регулирование данного показателя может осуществляться вводом суперпластификатора.

Дальнейшие исследования проводились на цементно-песчаных растворах нормальной консистенции с добавками МБМ и суперпластификатора.

Составы смесей и результаты физико-механических испытаний образцов приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Составы растворов смесей

| № состава | В/Ц  | цемент, части | песок, части | МБМ, % от массы вяжущего | Суперпластификатор, % от массы вяжущего |
|-----------|------|---------------|--------------|--------------------------|---|
| 5         | 0,43 | 1             | 3            | 0                        | 1                                       |
| 6         | 0,45 | 1             | 3            | 1                        | 1                                       |

Таблица 5

Результаты испытаний

| № состава | Предел прочности в возрасте 7 суток, кгс/см <sup>2</sup> |            | Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, кгс/см <sup>2</sup> | Распływ конуса, мм |
|-----------|--|------------|--|--------------------|
|           | при изгибе   | при сжатии |  |                    |
| 5         | 75,15  | 400,8      | 681,36   | 106                |
| 6         | 77,5   | 356,8      | 606,56   | 111                |

Как видно из результатов испытаний, представленных в таблице 5, снижение водопотребности цементно-песчаных растворов до значений, соответствующих нормальной консистенции, приводит к резкому повышению прочности растворов. Некоторое снижение прочности при сжатии образцов с добавкой МБМ в сравнении с бездобавочным вариантом объясняется большим В/Ц и подвижностью растворной смеси состава 6 по сравнению с составом 5 и, следовательно, большей пористостью цементного камня состава 6. Но прочность при изгибе повышается, что свидетельствует о проявлении армирующего воздействия микрофибры.

Следует отметить, что бетон и строительный раствор, представляющий собой песчаный бетон, характеризуются конгломератной структурой со значительным количеством пор и пустот, снижающих прочностные характеристики материала. Таким образом, их прочность в значительной степени зависит от характера макроструктуры бетона. Астралены, вводимые

совместно с МБМ, влияют на тонкую структуру цементного камня, т.е. на микроструктуру. Поэтому наибольший эффект от их использования следует ожидать при вводе их в состав тонкодисперсных композиций, таких как финишные отделочные составы и т.п. Причем, как отмечают ученые [10], наибольший эффект от использования МБМ достигается за счет снижения расхода суперпластификаторов при вводе астраленов.

Таким образом, результаты предварительных исследований:

1. Подтверждают целесообразность введения модифицированной базальтовой микрофибры в цементные растворы с целью их дисперсного армирования;
2. Свидетельствуют о повышении прочностных характеристик цементно-песчаного камня;
3. Свидетельствуют об уменьшении подвижности растворной смеси и возникновении трудности перемешивания.
4. Указывают на целесообразность при внедрении МБМ в строительное производство основной акцент сместить на разработку высокопрочных тонкодисперсных отделочных и гидроизоляционных составов.

### Литература

1. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1995/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1995/).
2. Моргун В.Н., Пушенко О.В. О структуре фибропенобетонов // Инженерный вестник Дона, 2012, №3 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/955/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/955/).
3. Рабинович Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны. М: Стройиздат, 1989. 176 с.

4. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №1. С. 31-34.

5. Булярский С.В. Углеродные нанотрубки: технология, управление свойствами, применение. Ульяновск: ООО «Стрежень», 2011. 478 с.

6. Алаторцева У.В. Конструкционные сталефибробетоны, модифицированные комплексными углеродными микро- и наноразмерными добавками : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Волгоград, 2011. 151 с.

7. Shan S.P., Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Mondal P. Nanoscale modification of cementitious materials. Proceeding of the Third International symposium on nanotechnology in construction. Springer, 2009, pp. 125-130.

8. Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Shan S.P. Nanoimaging of highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials / Seventh International RJLEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete: Design and Applications, Chennai, India, 2008, pp. 125-131.

9. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Инженерно-строительный журнал. 2009. №6. С. 25-33.

10. Ваучский М.Н. Нанобетон: мифы и реальность // Стройпрофиль. 2007, №8 URL: [stroyprofile.com/archive/2889](http://stroyprofile.com/archive/2889).

### References

1. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armeyskov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1995/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1995/).

2. Morgun V.N., Pushenko O.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/955/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/955/).

3. Rabinovich F.N. Dispersno armirovannye betony [Dispersion reinforced concrete]. M: Stroyizdat, 1989. 176 p.

4. Falikman V.R. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2013. №1. pp. 31-34.



5. Bulyarskiy S.V. Uglерodnye nanotrubki: tekhnologiya, upravlenie svoystvami, primenenie [Carbon nanotubes: technology, management properties, application]. Ul'yanovsk: ООО «Strezhen'», 2011. 478 p.

6. Alatortseva U.V. Konstruktsionnye stalefibrobetony, modifitsirovannye kompleksnymi uglерodnymi mikro- i nanorazmernymi dobavkami [Structural dispersion reinforced concrete modified complex carbon micro and nanoscale additives]. : dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Volgograd, 2011. 151 p.

7. Shan S.P., Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Mondal P. Nanoscale modification of cementitious materials. Proceeding of the Third International symposium on nanotechnology in construction. Springer, 2009, pp. 125-130.

8. Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Shan S.P. Nanoimaging of highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials. Seventh International RJLEM Symposium on Fibre Reinforced Concrete: Design and Applications, Chennai, India, 2008, pp. 125-131.

9. Ponomarev A.N. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2009. №6. pp. 25-33.

10. Vauchskiy M.N. Stroyprofil'. 2007, №8 URL: [stroyprofile.com/archive/2889](http://stroyprofile.com/archive/2889).