

Эффективность армирования туфобетона стальной фиброй

Ю.М. Хасауов, А.Я. Джанкулаев, М.Х. Мисиров,

И.Б. Жилоков, К.А. Мазанов

Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик

Аннотация: В работе приведены краткие сведения об эффективности фибробетона на основе тяжелого кварцевого песка, результаты подбора оптимального состава туфобетона на основе туфового заполнителя Каменского месторождения Кабардино-Балкарской Республики на предмет его использования в качестве матрицы сталефибротуфобетона (СФТБ) а также, данные экспериментальных исследований свидетельствующие о возможности использования туфобетона в сталефибробетонных конструкциях.

Ключевые слова: Сталефибротуфобетон, стальная фибра, матрица, объемный процент фибрового армирования, растяжение, сжатие, изгиб, динамические воздействия, зональное размещение.

Ряд исследований, посвященных фибровому армированию [1-10] свидетельствует об эффективности дисперсного армирования конструкций из мелкозернистых бетонов.

Сущность армирования бетона волокнами заключается в том, что при нагружении конструкции усилие передается волокну через матрицу (бетон) при сдвиговой деформации в контактной зоне волокна и матрицы. Передача нагрузки обуславливается прежде всего различием между значениями модулей упругости волокна и матрицы. При этом в случае дисперсного армирования бетона стальными фибрами, преобладание модуля упругости стали над модулем упругости бетона способствует получению материала (сталефибробетона) с повышенными, по сравнению с матрицей, прочностными характеристиками.

Согласно отмеченным выше исследованиям и множеству других, при объемном проценте фибрового армирования бетона $\mu_{fv} = 1 \div 3\%$ прочность сталефибробетона на растяжение в 1,5-3,5 раза, а на растяжение при изгибе в 4-5 раз больше соответствующих характеристик матрицы. Благодаря фибровому армированию прочность бетона матрицы на сжатие повышается на 20-30%.

Начальный модуль упругости сталефибробетона при сжатии в сравнении с данными для бетона увеличивается незначительно (на 3-10%).

Сталефибробетону присуща повышенная анкерующая способность стержневой арматуры [2].

Так, по данным работы [2] прочность сцепления стержневой арматуры класса А-III (А400) со сталефибробетоном при $\mu_{fv} = 2\%$, повысилась в 1,15-1,91 раза по сравнению с прочностью ее сцепления с бетоном.

Исследования [4] свидетельствуют о том, что за счет фибрового армирования бетона уменьшаются его деформации: ползучести – до 20% и усадки – до 10%.

Кроме того, сталефибробетон хорошо сопротивляется динамическим и ударным воздействиям, истиранию, замораживанию и оттаиванию [3].

Помимо приведенных выше основных достоинств сталефибробетона фибровое армирование оказывает благоприятное влияние на структуру бетонной матрицы, а именно, уменьшает число и размеры более крупных пор и способствует образованию закрытых микропор. Таким образом структура бетонной матрицы приобретает более высокую однородность и меньшую проницаемость.

Отмеченные достоинства сталефибробетона определили на текущий момент некоторые области его рационального применения – тонкостенные конструкции, к которым предъявляются повышенные требования по прочности и трещиностойкости (оболочки, тонкие плиты, трубы, лотки); изгибаемые конструкции (балки, плиты); ударостойкие конструкции (сваи, взлетно-посадочные полосы аэродромов, шпалы); конструкции, к которым предъявляются повышенные требования по износостойкости (скоростные автотрассы, полы промышленных зданий); жаростойкие конструкции (отопительные панели, крышки пропарочных камер).

Перспективы развития железобетонных конструкций свидетельствуют о том, что область применения сталефибробетона будет расширяться. Одним из таких



направлений, очевидно, будет применение сталефибробетона в сборно-монолитных конструкциях.

Принцип зонального размещения материалов, наиболее часто используемый в сборно-монолитных изгибаемых конструкциях, предполагает широкое применение легких бетонов.

При этом возникают задачи обеспечения трещиностойкости и жесткости таких конструкций, что может быть достигнуто путем дополнительного армирования сборных элементов стальной фиброй.

Вместе с тем, одной из задач научно-технического прогресса в строительстве является снижение массы зданий и сооружений, что достигается использование легких бетонов на основе различного рода искусственных и природных пористых заполнителей.

Исследования в области фибрового армирования легких бетонов ограничены. Их экспериментальные данные [7,8] качественно согласуются с результатами испытаний сталефибробетона на основе матрицы из полевошпатного песка.

Фибры для сталефибробетона обычно изготавливают из углеродистой и малоуглеродистой стали. Применение фибр из высокопрочных сталей ограничено, так как при разрушении сталефибробетонных образцов большая часть фибр не разрывается, а выдергивается, и, как следствие этого, недоиспользуется прочность стали. Использование высокопрочных фибр может быть оправдано при обеспечении достаточной для разрыва фибр анкеровки в бетоне путем отжига, промывки в ацетоне, придания различных геометрических форм и др. По данным некоторых исследований наиболее эффективными являются прямолинейные фибры периодического профиля.

Фибры могут иметь диаметр сечения от 0,1 до 1,5 мм, чаще применяется – 0,3-1 мм.

Отношение длины фибр к их диаметру $m = l_f / d_f$ колеблется от 25 до 160. Наиболее эффективным, по условиям получения однородной смеси и максимальной прочности сталефибробетона, считается отношение $l_f / d_f = 100$.

Объемный процент содержания фибр в матрице μ_{fv} назначается в пределах 0,6–5%. Однако при $\mu_{fv} \geq 3$ приготовление сталефибробетонной смеси весьма затруднительно в связи с образованием «ежей», особенно в случае, если $l_f / d_f > 50$.

Экспериментально установлено, что одинаковым значениям $\mu_{fv} l_f / d_f$ при прочих равных условиях соответствуют одинаковые прочностные характеристики сталефибробетона независимо от абсолютных значений диаметров фибр. Но фибры малых диаметров более эффективно сдерживают процесс трещинообразования в бетоне.

Свод правил СП 52-104-2006* «Сталефибробетонные конструкции» допускает применение крупного и мелкого пористого заполнителя для приготовления сталефибробетона, при экспериментальном обосновании их целесообразности.

Учитывая наличие огромных запасов природных пористых заполнителей (туф, пемза, пуммицит и др.) в различных регионах страны, а также заполнителей, получаемых на основе отходов промышленности, становятся весьма актуальными задачи исследования сталефибробетона с легкобетонными матрицами.

Целью данной работы являлся выбор оптимального состава туфобетона на основе туфового заполнителя Каменского месторождения Кабардино-Балкарской Республики на предмет его использования в качестве матрицы сталефибротуфобетона (СФТБ) а также, экспериментальное обоснование возможности его применения в сталефибробетонных конструкциях.

Подбор и уточнение составов туфобетона производились на основании исследований [9].

В качестве крупного заполнителя применялся туфовый щебень фракции 5-20 мм с насыпной плотностью 880 кг/м^3 и прочностью на сжатие в цилиндре 2,43 МПа. Мелким заполнителем служил туфовый песок фракции 0-5 с насыпной плотностью 1100 кг/м^3 . Вяжущим служил портландцемент марки 400. Смеси готовились в лабораторной бетономешалке принудительного действия объемом 12 литров. Образцы уплотнялись на лабораторном вибростоле, затем пропаривались по режиму 5+9+3 при температуре изотермического прогрева 85°C . Испытывались образцы через сутки после их пропарки и предварительного обмера (кубы размером $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$, призмы – $10 \times 10 \times 40 \text{ см}$) и взвешивания.

С целью выбора состава туфобетонной матрицы для СФТБ было испытано на сжатие (15 кубов и 15 призм) и изгиб (15 призм) три серии образцов армированных фибрами и столько же эталонных образцов. Исследуемые составы туфобетонных матриц армировались фибрами периодического профиля диаметром $d_f = 1 \text{ мм}$ и $l_f / d_f = 100$ в количестве $\mu_{fv} = 1\%$ от объема бетона. Фибры вводились в смеситель после изъятия части бетона для формования эталонных образцов ($\mu_{fv} = 0$).

В серии 1 было ограничено количество крупного заполнителя и его размеры (10 мм).

Во 2-ой серии, в отличие от 1-ой, крупный заполнитель имел размеры до 20 мм. Расход цемента в сериях 1-ой и 2-ой был одинаковым, исходя из получения бетонов равной прочности. В серии 3-ей принят зерновой состав заполнителя, аналогичный 1-ой серии, но увеличен расход цемента.

Результаты испытаний показали, что прочность сталефибротуфобетона (СФТБ) по сравнению с матричной увеличилась при сжатии кубов на 20,4-28,5%, призм-на 15,3-26,6%, а на растяжение при изгибах 2,2-2,4 раза. При этом наибольшее увеличение прочности показали образцы из

мелкозернистого туфобетона с расходом цемента $400\text{кг}/\text{м}^3$ (серия 1). Этому составу СФТБ свойственно также наибольшее увеличение плотности.

Результаты эксперимента позволили заключить:

1. Прочность СФТБ при равном расходе цемента и фибр повышается с уменьшением размера фракции заполнителя. Оптимальным следует считать размер фракции туфа 10мм.

2. Армирование туфобетона стальной фиброй ($\mu_{fv} = 1\%$) позволяет повысить прочность матрицы на сжатие в кубах до 28% и в призмах – до 26%, а на растяжение при изгибе – до 2,4 раза. При этом прирост прочности СФТБ аналогичен увеличению прочности СФБ с мелкозернистой матрицей на кварцевом песке.

3. Увеличение прочности туфобетонной матрицы за счет армирования фибрами происходит более интенсивно при меньшем расходе цемента.

Анализ влияния исследованных факторов на эффективность армирования туфобетона стальными фибрами позволил предложить его оптимальный состав для СФТБ, приведенный в таблице 1.

Таблица №1

Состав туфобетона в качестве матрицы для СФТБ

Расход материалов на 1 м^3 туфобетона			
Щебень 5-10 мм, кг	Песок $M_k=1,97$, кг	Цемент $M400$, кг	Вода, л
127	953	430	360

Предлагаемый состав был использован для изготовления образцов при дальнейшем проведении экспериментов с изгибаемыми конструкциями.

Для дисперсного армирования туфобетона применялись фибры периодического профиля, $d_f = 1\text{ мм}$, $l_f = 100\text{ мм}$, с временным сопротивлением растяжению $R_f = 621\text{ МПа}$.

Далее приводятся результаты испытания контрольных образцов бетона взятых при изготовлении СФТБ конструкций.

Таблица №2

Физико-механические характеристики туфобетона и СФТБ

Серия	Объемный коэффициент фибрового армирования, μ_{fa}	Плотность γ , кг/м ³	Прочность на сжатие		Прочность на растяжение		Начальный модуль упругости $E_{в,м}$, МПа
			кубиковая 15x15x15 см R_m , МПа	призменная 10x10x40 см $R_{в,м}$, МПа	осевое $R_{вт,м}$, МПа	при изгибе $R_{втс,м}$, МПа	
0	0	167,9	18,1	15,7	1,50	3,15	120,6
1	0,01	1718	20,3	16,7	2,04	7,37	125,8
2	0,02	1759	22,3	17,4	3,56	11,1	131,4

Результаты испытаний контрольных образцов на сжатие, растяжение и изгиб (таблица №2) свидетельствуют о том, что фибровое армирование оказывает существенное положительное влияние на прочностные и деформативные свойства туфобетона.

Наибольший эффект фибровое армирование туфобетона оказало на работу контрольных образцов при их растяжении и изгибе. Так, из табл.2 следует, что прочность на осевое растяжение СФТБ была в 1,36 ($\mu_{fv} = 1\%$) и в 2,37 раза ($\mu_{fv} = 2\%$), а на растяжение при изгибе соответственно в 2,3 и 3,5 раза выше аналогичных характеристик туфобетона.

Фибровое армирование туфобетона способствовало увеличению его начального модуля упругости на 4,3% ($\mu_{fv} = 1$) и 8,9% ($\mu_{fv} = 2\%$).

Зафиксировано также некоторое увеличение предельной сжимаемости и растяжимости СФТБ по сравнению с соответствующими характеристиками бетона матрицы. Так относительные деформации сжатия при разрушении призм $\epsilon_{в,и}$ составили: для туфобетонной матрицы прочностью $R_m = 18,1$ МПа - $(2,07 \div 3,78) \cdot 10^{-3}$, а для СФТБ ($\mu_{fv} = 1$) - $(2,22 \div 3,86) \cdot 10^{-3}$. Предельные деформации растяжения $\epsilon_{вс,и}$ туфобетона колебались в пределах $(20 \div 35) \cdot 10^{-5}$, а

фиброармированной матрицы - $(25 \div 45) \cdot 10^{-5}$. Т.е. прирост деформаций СФТБ на сжатие составил 2-7%, а при растяжении - 25-30%.

Очевидно, меньшую эффективность фибрового армирования при сжатии призм (10x10x40 см) по сравнению с кубами (15x15 см) можно объяснить меньшими размерами поперечного сечения первых, т.е. меньшей ориентированностью фибр в направлении, перпендикулярном действию сжимающего усилия.

Полученные данные (таблица №2) о влиянии фибрового армирования на прочность и деформативность туфобетона при сжатии и растяжении качественно согласуются с результатами других авторов [1,2,3,4].

Количественное сопоставление результатов весьма затруднительно, так как свойства сталефибробетона зависят от многих факторов (применяемых материалов, параметров фибрового армирования, технологии изготовления смеси и образцов, методики испытаний и т.д.), которые в указанных исследованиях существенно разнятся.

Этими же факторами определяется и значительное отличие коэффициентов вариации характеристик сталефибробетонов в различных источниках.

В настоящих исследованиях коэффициенты вариации прочностных и деформативных характеристик СФТБ колебались в пределах от 0,13 до 0,27.

Следует отметить, что при большем проценте фибрового армирования ($\mu_{fv}=2\%$) коэффициенты вариации характеристик сталефибробетона оказались меньшими.

Данные экспериментальных исследований свидетельствуют о возможности использования туфобетона в сталефибробетонных конструкциях.

Литература

1. Аболиныш Д.С., Кравинскис В.К., Лагутина Г.Е. Мелкозернистый бетон, армированный проволочными отрезками // Бетон и железобетон, 1973. №5. С. 8-11.

2. Нгуен Гыу Тхань. Влияние параметров фибрового армирования и диаметра стержней на их сцепление со сталефибробетоном: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1987. 20 с.

3. Трамбовецкий Б.П. Бетон, армированный дисперсной арматурой. (По материалам координационного совещания) // Бетон и железобетон, 1974. №2. С. 40-42.

4. Jahlenius A. Steel fibres as shear reinforcement in concrete beams // Nordisk Betong, 1982. №2. V.4. pp. 239-241.

5. Хежев Т.А., Матаев Т.З., Гедгафов И.А., Дымов Р.Х. Фиброгипсовермикулитобетонные композиты с применением вулканического пепла // Инженерный вестник Дона, 2015. №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2851.

6. Hughes B.P. Experimental test results for flexure and direct tension of fibre cement composites//The-International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 1981.v.3. №1 pp. 13-18.

7. Черноусов Н.Н. Ребристые плиты из мелкозернистого шлакопемзобетона с дисперсным армированием стальными фибрами опорных зон продольных ребер: автореф.дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1987. 17 с.

8. Hannant D.I. Steel fibres and lightweight concretes // Concrete, 1972, v.6. №8. pp. 38-40.

9. Ахматов М.А. Применение отходов камнепиления туфкарьеров и рыхлых пористых пород в качестве заполнителей легких бетонов и конструкций из них. Нальчик, 1981. 128 с.

10. Маилян Л.Р., Налимова А.В., Маилян А.Л., Айвазян Э. С. Челночная технология изготовления фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства // Инженерный вестник Дона, 2011, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/714.

References

1. Abolin'sh D.S., Kravinskis V.K., Lagutina G.E. Beton i zhelezobeton, 1973. №5. pp. 8-11.
2. Nguen Gyu Than'. Vliyanie parametrov fibrovogo armirovaniya i diametra sterzhnej na ih scepnenie so stalefibrobetonom [Influence of parameters of fiber reinforcement and diameter of rods on their adhesion to steel fibre concrete]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Kiev, 1987. 20 p.
3. Tramboveckij B.P. Beton i zhelezobeton, 1974. №2. pp. 40-42.
4. Jahlenius A. Nordisk Betong, 1982. №2. V.4. pp. 239-241.
5. Khezhev T.A., Mataev T.Z., Gedgafov I.A., Dymov R.Kh. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2851.
6. Hughes B.P. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 1981. V.3. №1. pp.13-18.
7. Chernousov N.N. Rebristye plity iz melkozernistogo shlakopemzobetona s dispersnym armirovaniem stal'nymi fibrkami opornyh zon prodol'nyh reber [Ribbed plates of fine-grained slag-pouc-concrete with dispersed reinforcement of steel fibers of the support zones of longitudinal ribs]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Voronezh, 1987. 17 p.
8. Nannant D.I. Concrete, 1972, V.6. №8. pp. 38-40.
9. Ahmatov M.A. Primenenie othodov kamnepileniya tufkar'erov i ryhlyh poristykh porod v kachestve zapolnitelej legkih betonov i konstrukcij iz nih [The use of waste stone cuttings of corrugated and loose porous rocks as aggregates of lightweight concrete and structures of them]. Nal'chik, 1981. 128 p.
10. Mailyan L.R., Nalimova A.V., Mailyan A.L., Ajvazyan E.H.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/714.