Строительные материалы и изделия

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-1-14>

УДК 691

В.В. Леснов

ЛЕСНОВ ВИТАЛИЙ ВИКТОРОВИЧ – к.т.н., доцент кафедры «Строительные материалы и технологии», AuthorID: 367456, SPIN: 8328-8930, e-mail: vvl377mgu@rambler.ru
 Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева
 Большевикская ул., 68, Саранск, Россия, 430005

Фиброармированные каркасные композиты на основе цементных вяжущих: прочностные характеристики и ударная вязкость

Аннотация: Приведены результаты исследования прочностных характеристик и ударной вязкости строительных фиброармированных композитов, изготовленных по каркасной технологии. В качестве дисперсной арматуры в эксперименте использовалось три различных по форме типа стальной фибры, содержание арматуры составляло 1...3% по объему. Для улучшения пропитки каркаса и снижения вязкости цементных матриц применялись суперпластифицирующие добавки марок Melflux 1641 F и Sika ViscoCrete 5-800, также изучалось влияние водонасыщения каркаса на исследуемые свойства композитов. Были получены эффективные составы фиброармированных каркасных композитов, имеющих улучшенные прочностные характеристики и повышенные показатели ударной вязкости. Разработанные материалы могут применяться для устройства монолитных промышленных полов, оснований и дорожных одежд, работающих при воздействии повышенных сжимающих, изгибающих и ударных нагрузок.

Ключевые слова: фиброармированный каркасный композит, цементная пропиточная матрица, суперпластифицирующая добавка, дисперсная стальная фибра, ударная вязкость, прочностные характеристики.

Введение

Каркасные композиты – один из видов эффективных строительных бетонов, получаемых методом раздельной технологии. Они были разработаны в 1970-е годы В.Т. Ерофеевым и в дальнейшем развиты в работах представителей его школы: А.В. Ерастова, С.В. Казначеева, Е.В. Завалишина, Ю.И. Калгина, И.Э. Кондаковой, В.В. Леснова, Е.А. Митиной, Л.В. Никитина, Р.Н. Салимова, В.А. Спирина, Д.А. Твердохлебова, Л.С. Яушевой и др. [1, 4–6, 8–11, 13, 14, 17, 18]. При производстве каркасных композитов на первом этапе получают макроструктуру в виде пустотного каркаса. Его изготавливают из зерен крупного заполнителя, которые соединяют друг с другом при помощи клеевых составов, спеканием, вибрированием, трамбованием, укаткой и другими методами. На втором этапе выполняют пропитку каркаса высокоподвижным матричным составом и получают каркасный композит. Пропитка пустот каркаса может осуществляться при атмосферном повышенном или пониженном давлениях (например, импрегнированием и/или вакуумированием каркаса). Данная технология изго-

© Леснов В.В., 2020

О статье: поступила: 13.11.2019; финансирование: Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева.

товления строительных композитов дает возможность совместного использования различных по своей природе и характеристикам видов вяжущих (полимерные, цементные, гипсовые, жидкостекольные, серные, битумные, смешанные и др.). Приготовление матричной и клеевой композиций, каркаса и композита происходит при наиболее эффективных для них режимах, что позволяет оптимизировать физико-механические свойства каркасных композитов как на макро-, так и на микроструктурном уровне [4–6, 9, 10, 13, 14, 17].

На макроуровне происходит максимальная упаковка объема материала крупным плотным или пористым наполнителем, в результате чего получается композит, имеющий контактную структуру с минимальной раздвижкой зерен. На микроуровне пропиточная матрица, как правило, модифицируется высокодисперсными минеральными наполнителями, разжижителями и другими добавками, что позволяет целенаправленно изменять в широком диапазоне ее физико-механические свойства и повышать экономическую эффективность каркасных композитов.

Физико-технические характеристики, долговечность, а также технология изготовления конструкций и изделий хорошо изучены применительно к каркасным композитам, получаемым с использованием широкого спектра полимерных связующих. По сравнению с полимерными композитами, приготовленными по традиционной технологии, каркасные полимерные композиты обладают следующими улучшенными характеристиками:

- прочность при сжатии и растяжении выше – на 10...20%,
- ударная вязкость – в 1,5...3,5 раза;
- усадочные деформации снижаются в 5–7 раз, температурные – в 2,2 раза, ползучесть – на 20% [6].

Исследованию свойств каркасных композитов, изготавливаемых на основе портландцементных вяжущих, посвящено незначительное количество работ [1, 11], хотя в гражданском и промышленном строительстве большинство конструкций, материалов и изделий, получают как раз на основе цементных бетонов и растворов.

Традиционные неармированные цементные бетоны – хрупкие материалы. Они хорошо работают на сжатие, но характеризуются низкой прочностью и деформационной способностью при растяжении. Поэтому для улучшения восприятия таких нагрузок бетоны нуждаются в армировании. Исторически сложилось так, что армирование осуществлялось при помощи непрерывных стальных арматурных стержней, которые устанавливались в соответствующих местах конструкции для восприятия прикладываемых напряжений растяжения, среза или сдвига. В отличие от армирования стержнями при дисперсном армировании дискретными фибрами происходит их хаотичное распределение по всему объему бетонной матрицы. Благодаря более близкому (по сравнению с обычными арматурными стержнями) расположению фибр относительно друг друга, дисперсная арматура лучше контролирует трещинообразование в композиционном материале, снижает усадочные деформации при твердении и температурно-влажностных воздействиях [2, 12, 15, 16, 19].

При получении дисперсно-армированных строительных композитов широко используются асбестовые, стеклянные, базальтовые, полиакрилонитрильные, полипропиленовые, вязкозные, древесные и другие волокна, а также стальная фибра, изготавливаемая путем резки проволоки, рубки стальных листов и фрезерованием слябов. Для повышения механических свойств композита модуль упругости арматуры должен быть в несколько раз выше модуля упругости матрицы, которая, в свою очередь, должна обеспечивать коррозионную стойкость арматуры. Таким условиям наиболее полно отвечают сталефибробетоны, т.е. бетоны, приготовленные на основе портландцементного вяжущего и усиленные стальной дисперсной арматурой [12, 15, 16, 19].

Наличие стальной дисперсной фибры в составе цементного композита приводит к повышению вязкости разрушения, росту прочности при растяжении, изгибе и срезе, улучшению стойкости при знакопеременных температурах и снижению истираемости по сравнению

с обычным неармированным композитом [2, 12, 15, 16, 19]. Введение дисперсной стальной фибровой арматуры практически не изменяет традиционную технологию изготовления бетона, получаемого методом смешивания компонентов, и приводит к значительному снижению трудоемкости арматурных работ.

Следует отметить, что дисперсное армирование фибрами не является непосредственной заменой стрежневой арматуры в железобетонных конструкциях, так как из-за случайной ориентации, дискретного характера и ограничения максимального содержания фибр увеличение несущей способности конструкций ниже, чем при традиционном армировании стержнями.

В настоящее время до 60% конструкций, изготавливаемых на основе монолитного сталефибробетона, относится к конструкциям промышленных полов, взлетно-посадочных полос, дорожных покрытий и оснований, складских и контейнерных площадок, которые подвергаются интенсивным статическим и динамическим изгибающим нагрузкам, истирающим и ударным силовым воздействиям, знакопеременным температурам и антигололедным средам [3, 7, 12]. Для этих типов конструкций в отличие от большинства несущих и ограждающих строительных конструкций, где главный показатель – прочность бетона на сжатие, основной расчетной характеристикой является прочность на растяжение при изгибе.

Изготовление фиброармированных каркасных композитов (ФКК) сводится к введению в их состав различной по форме, размерам и природе материала дискретной дисперсной фибры [5, 6, 8, 9, 14]. Каркасная технология позволяет армировать каркас макро- и мезодисперсной фиброй, а матрицу – микро- и нанодисперсной. При этом армирование каркасного композита может осуществляться как совместно на всех уровнях, так и отдельно на каком-либо одном из вышеперечисленных уровней [6, 8, 9]. Одним из основных условий получения высококачественного каркасного композита является улучшение режимов пропитки каркаса матрицей, которое может осуществляться за счет снижения вязкости матричной композиции, уменьшения водопоглощения зерен каркаса, заполнения пустот каркаса матрицей под давлением и др. Следовательно, совершенствование технологии изготовления, разработка эффективных составов на основе широко распространенных типов вяжущих и стальной фибровой арматуры, исследование свойств строительных дисперсно-армированных каркасных композитов является важной и актуальной задачей. Поэтому цель настоящей статьи – установление прочностных характеристик при сжатии и изгибе, а также ударной вязкости ФКК, предназначенных для изготовления конструкций высоконагруженных промышленных полов, покрытий и оснований дорожных конструкций. При этом нами были поставлены задачи по исследованию изменения вышеперечисленных механических показателей от следующих факторов: количества и вида формы стальной фибры, водонасыщенности зерен каркаса и типа суперпластифицирующих добавок.

Материалы и методы исследования

Эксперимент проходил в течение 6 мес на лабораторных площадях архитектурно-строительного факультета кафедры «Строительные материалы и технологии» МГУ им. Н.П. Огарева.

В нашем эксперименте для изготовления каркасов использовался щебень плотной структуры крупностью 5...10 мм и фибровая дисперсная арматура (ДА) типа «Драмикс», «Волна» и «Весло» из стальной проволоки (рис. 1). Содержание фибры в композите составляло 1...3% по объему, ее диаметр и длина равны 1 и 50 мм. Каркас изготавливался путем перемешивания щебня со стальной фиброй в традиционном низкоскоростном смесителе в течение 2 мин, после чего смесь укладывали в формы и уплотняли на вибростоле 2 мин. Дисперсная арматура вводилась в щебень постепенно тремя порциями. При получении водонасыщенного каркаса щебень предварительно выдерживали 1 ч в воде, после чего давали воде стечь в течение 20 мин.

Рис. 1. Типы используемой стальной фибры (ДА):
а – «Драмикс», б – «Волна», в – «Весло».

Матрицы для пропитки каркасов получали на основе портландцемента марки ЦЕМ-I 42,5 и суперпластифицирующих добавок (СП). Составы матриц подбирались из условий качественной пропитки щебеночного каркаса, время их перемешивания в высокоскоростном смесителе составляло 2 мин.

Фиброармированный каркасный композит получали путем пропитки матрицей сухого и водонасыщенного каркаса, содержащего фибру, с дальнейшим его уплотнением на вибростоле в течение 2 мин. Для пропитки сухого щебня (с.щ.) каркаса применяли матрицы М1 (В/Ц = 0,35) и М3 (В/Ц = 0,4), а в водонасыщенном (в.щ.) – матрицы М2 (В/Ц = 0,3) и М4 (В/Ц = 0,32). Матрицы М1 и М2 модифицировались СП Melflux 1641 F, а М3 и М4 – СП Sika ViscoCrete 5-800 (далее Sika 5-800). Количество суперпластификатора для всех составов было постоянным и равным 0,5% от массы цемента по сухому веществу. Изготовленные образцы-призмы ФКК размером 4×4×16 см подвергались тепловлажностной обработке в пропарочной камере при температуре 80 °С по режиму 4–16–е.о. (подъем температуры – изотермическая выдержка – естественное остывание, ч). За контрольные приняты неармированные составы каркасных композитов.

Исследовались следующие механические характеристики ФКК: прочность при сжатии и изгибе (ГОСТ 310.4), ударная вязкость (ГОСТ 4647). При испытании композитов на изгибающую нагрузку и ударную вязкость для стабильного возникновения трещины под местом приложения нагрузки использовали образцы с надрезом в нижней средней части. Испытание образцов на сжатие осуществляли на прессе Р-20, на изгиб – по трехточечной схеме на разрывной машине Р-5, на ударную вязкость – на маятниковом копре марки МК-30А.

Экспериментальные результаты, их анализ и обсуждение

Полученные графические зависимости прочностных характеристик и ударной вязкости фиброармированных каркасных композитов показаны на рис. 2–4.

Рис. 2. Прочность фиброармированных каркасных композитов при сжатии:
а – на сухом каркасе, б – на водонасыщенном каркасе.

Рис. 3. Прочность фиброармированных каркасных композитов при изгибе:
 а – на сухом каркасе, б – на водонасыщенном каркасе.

Прочность фиброармированных каркасных композитов при сжатии имеет достаточно сложный характер, она зависит от всех изменяемых в эксперименте факторов: вида формы и содержания ДА, типа СП – модификатора матрицы и водонасыщенности зерен щебня каркаса. Разработанные ФКК, при различном содержании в их составе ДА «Весло», «Волна» и «Драмикс», имеют диапазоны изменения прочности при сжатии равные 45,1...70,2 МПа, 41,2...55,9 МПа и 44,0...68,0 МПа (рис. 2, а, б).

Рис. 4. Ударная вязкость фиброармированных каркасных композитов:
 а – на сухом каркасе, б – на водонасыщенном каркасе.

Наибольшие абсолютные значения прочности при сжатии ФКК при армировании 1...2% ДА «Весло» и «Драмикс» были равны 70,2...69,0 МПа и 65,8...68,0 МПа (в обоих случаях матрица М1, СП Melflux 1641 F, сухой каркас), а для 1...2% ДА «Волна» (матрица М4, СП Sika 5-800, водонасыщенный каркас) – 54,9...55,9 МПа, что соответствовало увеличению прочности при сжатии на 20...18% и 12...16%, 11...13%.

Прочность ФКК при изгибе, полученных как на сухом, так и водонасыщенном каркасе, практически линейно увеличивалась с ростом содержания дисперсной арматуры для всех типов применяемых фибр и видов пропиточных матриц. Диапазоны изменения прочности при изгибе ФКК, армированных 1...3% ДА «Весло», «Волна» и «Драмикс», составляли 4,1...9,0 МПа, 3,0...5,9 МПа и 3,4...8,5 МПа, что соответствовало увеличению прочности в 1,5...4,1 раза, 1,2...2,3 раза и 1,2...3,3 раза (рис. 3, а, б).

Максимальная прочность при изгибе ФКК при армировании 1...3% ДА «Весло» была равна 4,1...9,0 МПа (матрица М3, СП Sika 5-800, сухой каркас), а для ДА «Драмикс» и «Волна» (в обоих случаях матрица М1, СП Melflux 1641 F, сухой каркас) – 5,6...8,5 МПа и 4,2...5,9 МПа, что составляло увеличение прочности при изгибе в 1,9...4,1 раза, 2,2...3,3 раза и 1,6...2,3 раза.

Ударная вязкость фиброармированных композитов имела четко выраженный линейный рост с увеличением содержания в их составе стальной проволоочной фибры. Изменение ударной вязкости ФКК, армированных 1...3% ДА «Весло», «Волна» и «Драмикс», находилось в интервалах 1,2...4,2 Дж/см², 1,1...3,4 Дж/см² и 0,92...3,3 Дж/см², что соответствовало ее увеличению в 2,9...11,0 раз, 3,3...8,1 раза и 2,7...8,5 раза (рис. 4, а и б).

Наибольшая ударная вязкость ФКК при армировании 1...3% ДА «Весло» и «Драмикс» была равна 1,8...4,2 Дж/см² и 1,7...3,2 Дж/см² (в обоих случаях матрица М2, СП Melflux 1641 F, водонасыщенный каркас), а при ДА «Волна» – 1,5...3,4 Дж/см² (матрица М1, СП Melflux 1641 F, сухой каркас), что составляло увеличение ударной вязкости соответственно в 4,9...11,0 раз и 4,4...8,5 раза, 3,6...8,1 раза. Для остальных ФКК значения ударной вязкости имели меньшие показатели, но были в большинстве случаев значительно выше значений, чем у контрольных неармированных составов каркасных композитов.

Как свидетельствуют представленные выше результаты, фиброармированные каркасные композиты, изготовленные на водонасыщенных каркасах, показали снижение прочностных характеристик и ударной вязкости по сравнению с композитами, полученными на сухих каркасах. Вероятно, это было вызвано водными пленками, которые оставались на поверхности зерен каркаса и дисперсной стальной арматуры, мешая образованию прочной граничной зоны и качественных контактов между пропиточной матрицей и зернами каркаса, а также матрицей и дисперсной арматурой. Повышенное содержание воды на зернах каркаса также могло привести к образованию менисков в местах их контакта между собой, и как следствие – к некачественной пропитке каркаса матрицами при изготовлении композитов. Для проверки данного предположения необходимо дальнейшее изучение воздействия степени водонасыщения зерен каркаса на исследуемые характеристики ФКК.

Форма используемых типов стальной дисперсной арматуры, при их равной относительной длине, влияла на прочностные показатели и ударную вязкость каркасных композитов. Более высокие характеристики ФКК были получены, как правило, при введении в их состав ДА «Весло» и «Драмикс», по сравнению с составами, армированными фиброй «Волна». Вероятно, это вызвано плавным, волнообразным очертанием формы этого типа фибры, которое приводит до возникновения трещин к периодическому изменению возникающих нормальных напряжений в волокне относительно направления приложенной нагрузки. При этом после возникновения в композите трещины фибра пересекает ее плоскость, в основном под острым углом, что приводит к выкалыванию бетона из поверхности образованной трещины и дает возможность фибре легко деформироваться благодаря «пружиноподобной» форме, не позволяющей эффективно воспринимать внешнюю нагрузку. Кроме того, из всех исследуе-

мых видов фибр ДА «Волна» имеет наибольшую фактическую длину и, соответственно, массу единичного волокна, что приводит к уменьшению значения ее показателя дисперсности (количества фибр на единицу объема) и как следствие – к большему интервалу между волокнами при одинаковом объемном содержании и суммарной площади поверхности относительно ДА «Весло» и «Драмикс».

Фиброармированные каркасные композиты, полученные на матрицах, модифицированных СП Melflux 1641F, имели, как правило, более высокие абсолютные прочностные показатели и ударную вязкость, чем композиты, изготовленные с применением матриц с СП Sika 5-800. Такие результаты объясняются, возможно, тем, что СП Melflux 1641F является более современной высокоэффективной разжижающей добавкой, полученной на основе поликарбосилатов, и относится к так называемым гиперпластификаторам. Поэтому при равной дозировке пластифицирующих добавок матрицы, содержащие СП Melflux 1641F, имели более низкое В/Ц и высокую подвижность, что приводило к качественной пропитке зерен каркаса и повышению (по сравнению с композитами на матрицах с СП Sika 5-800) в большинстве случаев исследуемых характеристик ФКК.

Так как основной характеристикой для конструкций плит, работающих на упругом основании (покрытий и оснований дорог, промышленных полов и др.), является прочность бетона при изгибе, то за оптимальные были приняты составы фиброармированных каркасных композитов, у которых прочность при сжатии уменьшалась не более чем на 5% ($\Delta R_{сж} \geq 0,95$). Результаты этой выборки приведены в таблице.

Оптимальные составы фиброармированных каркасных композитов

Варьируемые факторы			Изменение характеристик при содержании ДА								
			$R_{сж}$, МПа			$R_{из}$, МПа			$A_{уд}$, Дж/см ²		
			$\Delta R_{сж}$, отн.ед.			$\Delta R_{из}$, отн.ед.			$\Delta A_{уд}$, отн.ед.		
Матрица, тип СП	$W_{шк}$, %	Вид ДА	1%	2%	3%	1%	2%	3%	1%	2%	3%
M1, СП Melflux 1641 F	0	«Весло»	<u>70,2</u> 1,20	<u>69,0</u> 1,18	<u>61,3</u> 1,05	<u>4,9</u> 1,9	<u>6,8</u> 2,6	<u>7,3</u> 2,8	<u>1,2</u> 2,9	<u>2,2</u> 5,2	<u>2,9</u> 7,0
То же	0	«Драмикс»	<u>65,8</u> 1,12	<u>68,0</u> 1,16	<u>55,5</u> 0,95	<u>5,6</u> 2,2	<u>7,9</u> 3,0	<u>8,5</u> 3,3	<u>1,4</u> 3,4	<u>2,4</u> 5,7	<u>3,3</u> 7,7
M2, СП Melflux 1641 F	100	«Весло»	<u>60,2</u> 0,96	<u>61,3</u> 0,98	– –	<u>4,7</u> 1,5	<u>6,1</u> 1,9	– –	<u>1,8</u> 4,9	<u>3,5</u> 9,3	– –
M3, СП Sika 5-800	0	«Весло»	<u>52,6</u> 1,15	<u>48,0</u> 1,05	<u>45,1</u> 0,99	<u>4,1</u> 1,9	<u>6,0</u> 2,7	<u>9,0</u> 4,1	<u>1,5</u> 4,1	<u>2,8</u> 7,5	<u>3,3</u> 9,0
То же	0	«Волна»	<u>45,9</u> 1,01	<u>47,5</u> 1,04	– –	<u>3,0</u> 1,4	<u>4,0</u> 1,8	– –	<u>1,3</u> 3,5	<u>2,3</u> 6,3	– –
То же	0	«Драмикс»	<u>44,0</u> 0,97	<u>49,3</u> 1,08	<u>50,9</u> 1,12	<u>3,4</u> 1,5	<u>4,4</u> 2,0	<u>5,4</u> 2,5	<u>1,5</u> 3,9	<u>2,7</u> 7,2	<u>3,0</u> 8,1
M4, СП Sika 5-800	100	«Весло»	<u>53,6</u> 1,08	<u>50,9</u> 1,03	<u>50,0</u> 1,01	<u>4,9</u> 1,7	<u>7,1</u> 2,5	<u>7,9</u> 2,7	<u>1,3</u> 4,0	<u>2,5</u> 7,5	<u>2,8</u> 8,3
То же	100	«Волна»	<u>54,9</u> 1,11	<u>55,9</u> 1,13	<u>47,5</u> 0,96	<u>3,6</u> 1,2	<u>4,6</u> 1,6	<u>5,7</u> 2,0	<u>1,1</u> 3,3	<u>2,0</u> 5,8	<u>2,3</u> 6,6
То же	100	«Драмикс»	<u>56,8</u> 1,14	<u>59,0</u> 1,19	<u>58,0</u> 1,17	<u>3,9</u> 1,3	<u>5,1</u> 1,8	<u>6,0</u> 2,1	<u>0,9</u> 2,7	<u>1,6</u> 4,7	<u>2,2</u> 6,3

Примечания. $W_{шк}$ – водонасыщенность щебня; $R_{сж}$, $R_{из}$ и $A_{уд}$ – прочность при сжатии, изгибе и ударной вязкости; $\Delta R_{сж}$, $\Delta R_{из}$ и $\Delta A_{уд}$ – изменение прочности при сжатии, изгибе и ударной вязкости относительно контрольных составов неармированных каркасных композитов.

Выводы

Прочность при сжатии фиброармированных каркасных композитов имеет достаточно сложный характер и зависит от всех варьируемых факторов (вида, формы и содержания ДА, типа СП и водонасыщенности каркаса). Для всех видов используемых пропиточных матриц ударная вязкость и прочность ФКК при изгибе, полученные как на сухом, так и водонасыщенном каркасе, практически линейно возрастают с увеличением содержания дисперсной арматуры.

Разработанные ФКК на основе пластифицированных цементных матриц, при содержании в их составе 1...3% ДА «Весло», «Волна» и «Драмикс», имели широкие диапазоны изменения исследуемых характеристик: прочности при сжатии – 45,1...70,2 МПа, 41,2...55,9 МПа и 44,0...68,0 МПа; прочности при изгибе – 4,1...9,0 МПа, 3,0...5,9 МПа и 3,4...8,5 МПа; ударной вязкости – 1,2...4,2 Дж/см², 1,1...3,4 Дж/см² и 0,92...3,3 Дж/см².

Наибольшие абсолютные значения прочности ФКК при сжатии были равны 70,2...69,0 МПа и 65,8...68,0 МПа при армировании 1...2% ДА «Весло» и «Драмикс» (матрица М1, СП Melflux 1641 F, сухой каркас) и 54,9...55,9 МПа при содержании 1...2% ДА «Волна» (матрица М4, СП Sika 5-800, водонасыщенный каркас), что соответствовало увеличению прочности при сжатии на 20...18% и 12...16%, 11...13%.

Максимальная прочность при изгибе каркасных композитов при их армировании 1...3% ДА «Весло» была равна 4,1...9,0 МПа (матрица М3, СП Sika 5-800, сухой каркас), а для ДА «Драмикс» и «Волна» (матрица М1, СП Melflux 1641 F, сухой каркас) – 5,6...8,5 МПа и 4,2...5,9 МПа соответственно, что составляло увеличение прочности при изгибе в 1,9...4,1 раза, 2,2...3,3 раза и 1,6...2,3 раза.

Наибольшая ударная вязкость ФКК при армировании 1...3% ДА «Весло» и «Драмикс» была равна 1,8...4,2 Дж/см² и 1,7...3,2 Дж/см² (матрица М2, СП Melflux 1641 F, водонасыщенный каркас), а при ДА «Волна» – 1,5...3,4 Дж/см² (матрица М1, СП Melflux 1641 F, сухой каркас), что дало увеличение ударной вязкости в 4,9...11,0 раз и 4,4...8,5 раза, 3,6...8,1 раза.

Сравнение значений прочностных характеристик и ударной вязкости показало, что наибольшие абсолютные показатели имели ФКК, как правило изготовленные на сухом каркасе и матрице с СП Melflux 1641 F, а изготовленные на водонасыщенных каркасах – фиброармированные композиты на основе матрицы, модифицированной СП Sika 5-800.

Определены оптимальные составы фиброармированных каркасных композитов (см. таблицу), предназначенные для изготовления конструкций монолитных промышленных полов, оснований и дорожных покрытий, работающих в условиях воздействия повышенных сжимающих, изгибающих и ударных нагрузок.

Намечено дальнейшее направление изучения влияния степени водонасыщенности зерен каркаса на исследуемые характеристики с целью последующей оптимизации и совершенствования технологии изготовления каркасных композитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М., Король Е.А., Ерофеев В.Т. и др. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности. Основы теории, методы расчета и технологическое проектирование. М.: АСВ, 2008. 320 с. URL: <https://iasv.ru/ograzhday-uschie-konstruktsii-s-ispolzovaniem-betonov-nizkoj-teploprovodnosti-osnovy-teorii--me-tody-rascheta-i-tehnologicheskoe-proektirovanie.html> (дата обращения: 01.11.2019).
2. Бочарников А.С. Дисперсноармированные композиционные материалы на основе цементных вяжущих для конструкций защитных сооружений: монография / под ред. А.Д. Корнеева. Липецк: ЛГТУ, 2004. 261 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_-000009_002705636/ (дата обращения: 04.11.2019).
3. Брайтенбюхер Р. Процесс производства и свойства сталефибробетона // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. 2012. № 2(7). С. 93–97.

4. Ерофеев В.Т., Соколова Ю.А., Богатов А.Д. и др. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидными смолами и аминокпроизводными соединениями / под общ. ред. Ю.А. Соколовой, В.Т. Ерофеева. М.: Палеотип, 2008. 244 с. URL: <https://book.ru/book/901280> (дата обращения: 01.11.2019).
5. Ерофеев В.Т., Римшин В.И., Смирнов В.Ф. и др. Армированные каркасные композиты для строительства и реконструкции зданий и сооружений. М.: АСВ, 2018. 508 с.
6. Каркасные строительные композиты: в 2 ч. Ч. 1. Структурообразование. Свойства. Технология / В.Т. Ерофеев, Н.И. Мищенко, В.П. Селяев, В.И. Соломатов; под ред. В.И. Соломатова. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1995. 200 с. URL: <http://194.54.66.67/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> (дата обращения: 01.11.2019).
7. Ключев С.В., Ключев А.В., Сопин Д.М. и др. Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 3. С. 7–14.
8. Леснов В.В., Ерофеев В.Т. Исследование свойств каркасных композитов, армированных металлической фиброй различных видов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 3(28).
9. Леснов В.В., Ерофеев В.Т. Исследование свойств дисперсно-армированных композитов с организованной макроструктурой // Вестник БГТУ. 2013. № 2. С. 21–25.
10. Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т. и др. Структура и конструкционная прочность цементных композитов: монография. М.: АСВ, 2017. 400 с.
11. Ограждающие конструкции на основе каркасного керамзитобетона для производственных зданий / Ю.М. Баженов, В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина и др.; под общ. ред. Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. 212 с. URL: <http://194.54.66.67/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> (дата обращения: 02.11.2019).
12. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография. М.: АСВ, 2004. 560 с.
13. Силикатные и полимерсиликатные композиты каркасной структуры роликового формования: монография / В.Т. Ерофеев, Ю.М. Баженов, Е.В. Завалишин и др.; под общ. ред. Ю.М. Баженова, В.Т. Ерофеева. М.: АСВ, 2009. 160 с. URL: <http://194.54.66.67/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> (дата обращения: 02.11.2019).
14. Фурфуrolацетонoвые композиты каркасной структуры: монография / В.Т. Ерофеев, Д.А. Твердохлебов, К.В. Тармосин и др.; под общ. ред. В.Т. Ерофеева. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. 220 с. URL: <http://194.54.66.67/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> (дата обращения: 02.11.2019).
15. Bentur A., Mindess S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. Series: Modern Concrete Technology 15. 2nd ed. CRC Press, 2006, 624 p. URL: <https://www.crcpress.com/Fibre-Reinforced-Cementitious-Composites/Bentur-Mindess/p/book/9780367446239> – 04.11.2019.
16. Brandt A.M. Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance. London, Spon Press, 2009, 544 p. URL: <https://www.crcpress.com/Cement-Based-Composites-Materials-Mechanical-Properties-and-Performance/Brandt/p/book/97811381-15392> – 04.11.2019.
17. Erofeev V. Frame construction composites for buildings and structures in aggressive environments. Procedia Engineering. 2016(165):1444–1447. URL: doi: 10.1016/j.proeng – 2016.11.877.
18. Lesnov V.V., Erofeev V.T., Salimov R.N., Smirnov V.F. Resistance in filamentous fungi filled by epoxy adhesive and matrix compositions used in carcass concrete. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2015(27)3:65–72.
19. Singh H. Steel Fiber Reinforced Concrete: Behavior, Modelling and Design. Springer, 2016, 172 p.

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-1-14>

Lesnov V.

VITALIY LESNOV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Department Building Materials and Technologies, e-mail: vv1377mgu@rambler.ru
Ogarev Mordovia State University
68 Bolshevistskaya St., Saransk, Russia, 430005

Fiber reinforced carcass composites based on cement binders: strength characteristics and impact toughness

Abstract: This article presents the results of study of strength characteristics and impact toughness of building fiber reinforced composites made in compliance with carcass technology. In the experiment, three types of steel fibers of various shapes were used as dispersed reinforcement, the content of which was 1...3% in total volume. To improve the impregnation of carcass and reduce the viscosity of cement matrices, superplasticizing additives of Melflux 1641 F and Sika 5-800 brands were used. The effect of water saturation of the carcass on the strength properties of composites was also studied. Effective compositions of fiber reinforced carcass composites with improved strength characteristics and increased impact toughness were obtained. The developed materials can be used for manufacture of monolithic industrial floors, foundations and pavements, working under the influence of increased compressive, bending and impact loads.

Keywords: fiber reinforced carcass composite, cement impregnation matrix, superplasticizing additive, dispersed steel fiber, impact toughness, strength characteristics.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M., Korol E.A., Erofeev V.T. et al. Enclosing structures using concretes of low thermal conductivity. Fundamentals of theory, methods of calculation and technological design. M., ASV, 2008, 320 p. URL: <https://iasv.ru/ograzhday-uschie-konstruktsii-s-ispolzovaniem-betonov-nizkoj-teploprovodnosti-osnovy-teorii--me-tody-rascheta-i-tekhnologicheskoe-proektirovanie.html> – 01.11.2019.
2. Bocharnikov A.S. Dispersed reinforced composite materials based on cement binders for structures of protective buildings: monograph. Edited by A.D. Korneev. Lipetsk, LGTU, 2004, 261 p. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_-000009_002705636/ – 04.11.2019.
3. Breitenbucher R. Production process and properties of steel fiber reinforced concrete. Concrete and Reinforced Concrete. Equipment. Materials. Technologies. 2012(7):93–97.
4. Erofeev V.T., Sokolova Yu.A., Bogatov A.D. et al. Epoxy polymer concretes modified with petroleum bitumen, coal and urea resins and amino-derived compounds. Under the General ed. of Acad. of RAASN Yu. Sokolova and member.-corr. of RAASN V.T. Erofeev. M., Paleotype, 2008, 244 p. URL: <https://book.ru/book/901280> – 01.11.2019.
5. Erofeev V.T., Rimshin V.I., Smirnov V.F. et al. Reinforced carcass composites for construction and reconstruction of buildings and structures. M., ASV, 2018, 508 p.
6. Carcass building composites: In 2 hours. Part 1. Structuring. Properties. Technology. V.T. Erofeev, N.I. Mishchenko, V.P. Selyaev, V.I. Solomatov. Ed. Acad. RAASN V.I. Solomatov. Saransk, Mordov. University Publishing House, 1995, 200 p. URL: <http://194.54.66.67/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> – 01.11.2019.
7. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Sopin D.M. et al. Heavily loaded floors based on fine-grained fiber-reinforced concrete. Journal of Civil Engineering. 2013(3):7–14.

8. Lesnov V.V., Erofeev V.T. Investigation of the properties of carcass composites reinforced with metal fiber of various types. *Internet-Vestnik VolgGASU. Ser.: Polythematic*. 2013(28);(3).
9. Lesnov V.V., Erofeev V.T. Investigation of properties of dispersed reinforced composites with organized macrostructure. *Scientific and theoretical journal Vestnik BSTU*. 2013(2):21–25.
10. Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T. et al. The structure and structural strength of cement composites: monograph. M., ASV, 2017, 400 p.
11. Enclosing structures based on carcass expanded clay concrete for industrial buildings. Yu.M. Bazhenov, V.T. Erofeev, E.A. Mitina et al. Under the general. ed. Yu.M. Bazhenova, V.T. Erofeeva. Saransk, Mordov. University Publishing House, 2004, 212 p. URL: <http://194.54.66.67/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> – 02.11.2019.
12. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, constructions: monograph. M., ASV, 2004, 560 p.
13. Silicate and polymer-silicate composites of the carcass structure of roller molding: monograph. Erofeev V.T., Bazhenov Yu.M., Zavalishin E.V. et al. M., ASV, 2009, 160 p. URL: <http://194.54.66.67/MegaPro/Web/Search-Result/ToPage/1> – 02.11.2019.
14. Erofeev V.T., Tverdokhlebov D.A., Tarmosin K.V. et al. Furfurolacitone composites of carcass structure: monograph. Under the general. ed. member.-corr. RAASN V.T. Erofeeva. Saransk, Mordov. University Publishing House, 2008, 220 p. URL: <http://194.54.66.67/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1> – 02.11.2019.
15. Bentur A., Mindess S. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. Series: Modern Concrete Technology 15. 2nd ed. CRC Press, 2006, 624 p. URL: <https://www.crcpress.com/Fibre-Reinforced-Cementitious-Composites/Bentur-Mindess/p/book/9780367446239> – 04.11.2019.
16. Brandt A.M. *Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*. London, Spon Press, 2009, 544 p. URL: <https://www.crcpress.com/Cement-Based-Composites-Materials-Mechanical-Properties-and-Performance/Brandt/p/book/9781138115392> – 04.11.2019.
17. Erofeev V. Frame construction composites for buildings and structures in aggressive environments. *Procedia Engineering*. 2016(165):1444–1447. URL: doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.877. – 02.11.2019.
18. Lesnov V.V., Erofeev V.T., Salimov R.N., Smirnov V.F. Resistance in filamentous fungi filled by epoxy adhesive and matrix compositions used in carcass concrete. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2015(27)3:65–72. URL: <http://vestnikvgasu.wmsite.ru/ftpgetfile.php?id=479> – 02.11.2019.
19. Singh H. *Steel Fiber Reinforced Concrete: Behavior, Modelling and Design*. Springer, 2016, 172 p. URL: <https://www.springer.com/gp/book/9789811025068> – 06.11.2019.