

УДК 691

В. В. Леснов, Р. Н. Салимов, В. Т. Ерофеев

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ КАРКАСНОЙ СТРУКТУРЫ НА НАПОЛНЕННЫХ КЛЕЕВЫХ СОСТАВАХ

Приведены результаты исследования свойств дисперсно-армированных каркасных эпоксидных композитов на наполненных клеевых составах. Получены математические модели прочностных свойств, отмечено их улучшение при введении дисперсной арматуры.

Ключевые слова: каркасные композиты, наполнители, дисперсная арматура, математические модели прочностных свойств.

The results of research of investigation of properties of dispersive clad frame fiberglass composite on full adhesive cements are resulted. The mathematical models of strong properties are received. Their improvement at introduction of dispersed reinforcement is founded.

Key words: carcass composites, fillers, dispersed reinforcement, mathematical models of mechanical properties.

Каркасная технология изготовления композиционных материалов включает в себя предварительное получение пористого каркаса с последующим заполнением его пустот матрицей. Она позволяет изготавливать в отдельных оптимальных режимах клей каркаса, высокопористый каркас, пропиточный матричный состав и, в конечном итоге, каркасный композит на различных по своей природе видах вяжущих (органические и неорганические). При применении данной технологии происходит увеличение прочности при сжатии и растяжении на 10—15 и 15—30 %, при действии ударных нагрузок в 2—3 раза, морозостойкости в 1,3—2 раза, а также снижение на 10—15 % истираемости и расхода связующих по сравнению с бетонами, получаемыми по традиционной технологии [1].

Каркас может быть изготовлен методами склеивания зерен крупного заполнителя клеевыми композициями, соединения гранул между собой путем спекания и т.д., из которых первый способ получил наибольшее распространение.

При применении в качестве клея каркаса вязких составов на зернах крупного заполнителя каркаса образуется толстослойная оболочка и, как следствие, малая пористость каркаса, требующая применения высокоподвижных матриц для его пропитки при получении каркасного композита. Применение в качестве клея низковязких составов образует каркас с максимальной пустотностью, что дает возможность использовать для его пропитки наполненные матрицы. Варьирование подвижности клеевых и матричных составов позволяет получать каркасы и эффективные каркасные композиты с требуемыми свойствами.

Введение в составы композиционных материалов дисперсной арматуры позволяет повысить их упруго-прочностные характеристики, ударную вязкость, трещиностойкость, огнестойкость, морозостойкость, выносливость, снизить истираемость и расходы на эксплуатацию, увеличить долговечность конструкций на их основе и межремонтные сроки [2—4].

К настоящему времени свойства дисперсно-армированных каркасных композиционных материалов изучены недостаточно полно, поэтому их изучение и разработка является актуальной задачей. В этой связи целью работы являлось изучение влияния на прочностные, структурные и реологические свойства клеевых и матричных составов, каркасов и каркасных композитов введения в их состав различных видов наполнителей и дисперсной металлической арматуры. Введение наполнителей в клеевые и матричные составы изменяет подвижность и прочностные свойства композиций, снижает стоимость композиционных материалов.

Прочностные и структурные характеристики определяли на образцах-балочках размером 20×20×70 и 40×40×160 мм, вязкость композиций определяли на вискозиметре ВП-3. При изготовлении образцов в качестве связующего клеевых и матричных составов использовали эпоксидную смолу ЭД-20 (ГОСТ 10587—84), отвердителя — полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ 6-02-594—85), разжижающей добавки — бензин марки Аи-92. Наполнителями служили молотый шлак фракции менее 0,315 мм (ГОСТ 18866—93, отход производства Новолипецкого металлургического комбината), портландцемент марки ПЦ400Д20 (ГОСТ 10178—88, производитель ОАО «Мордовцемент»), а также мел и диатомит Атемарского месторождения республики Мордовия. В качестве крупного заполнителя каркасов и каркасных бетонов применяли высокопрочный щебень марки 1200 (ГОСТ 8267, ООО «ВКБ», г. Миньяр) крупностью 5—10 мм.

Клеевые и матричные композиции изготавливали по следующей технологии: эпоксидное связующее перемешивали в миксере совместно с разжижающей добавкой и наполнителем в течение 1 мин, после чего вводили отвердитель и перемешивали еще 1 мин.

Каркасы изготавливали путем склеивания зерен крупного заполнителя в следующем порядке: готовили клеевой наполненный состав по технологии, описанной выше, после чего вводили крупный заполнитель и перемешивали смесь в течение 2 мин до создания равномерной пленки на зернах заполнителя. Уплотнение клеевых, матричных и каркасных смесей производили на встряхивающем столике при 30 ударах частотой 1 удар в секунду. Через сутки образцы расплубливали и подвергали термообработке в сушильном шкафу при температуре 80 °С в течение 6 ч.

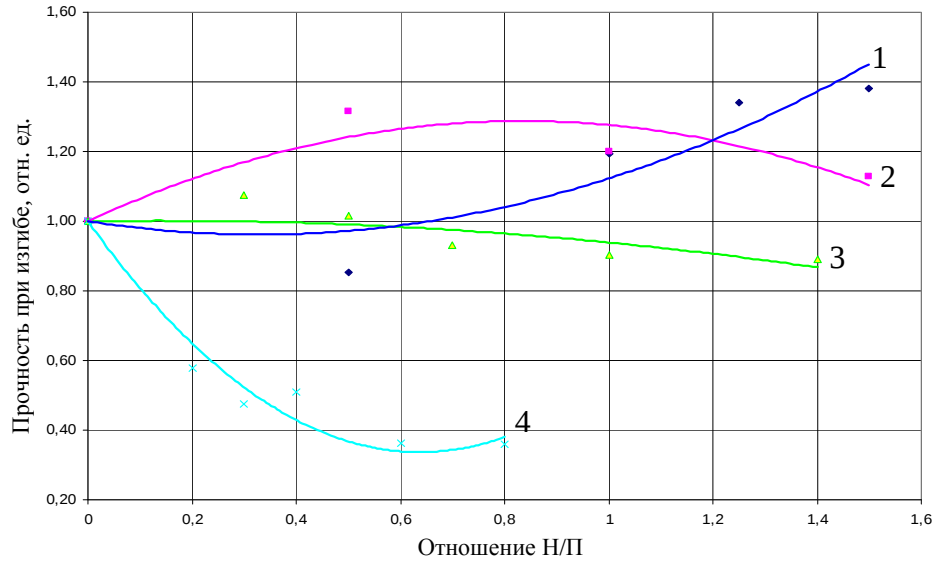
Для клеевых и матричных композиций в качестве контрольного был принят следующий состав: ЭД-20 — 100 мас. ч., ПЭПА — 10 мас. ч., Аи-92 — 5 мас. ч. Затвердевший материал после испытаний показал следующие характеристики: предел прочности при изгибе 36,3 МПа, при сжатии — 81,6 МПа, вязкость смеси — 95 мм.

Рассчитанные по полученным результатам математические модели прочности клеевых и матричных составов при изгибе, сжатии и подвижности смесей имеют следующий вид:

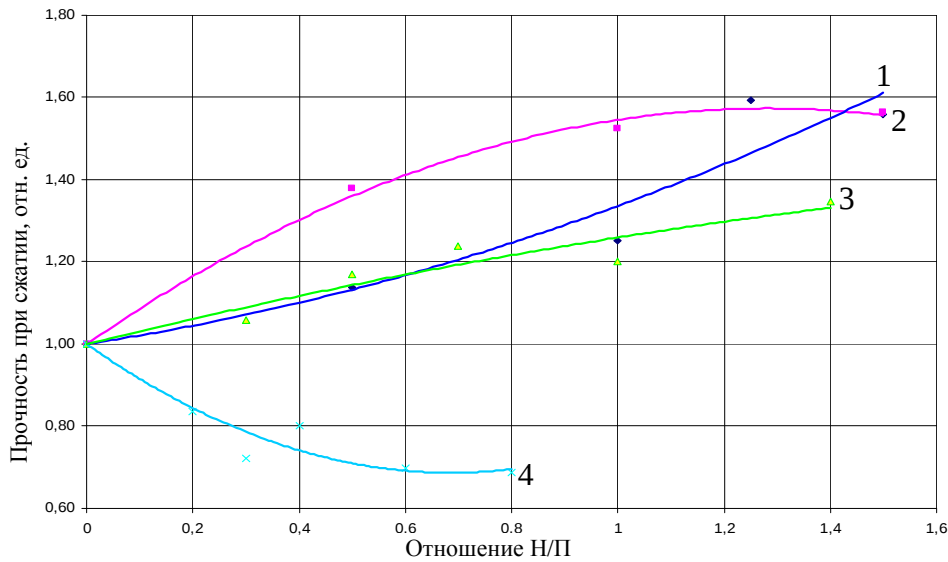
$$\begin{aligned} R_{is} &= 1 - 0,23(H/\Pi) + 0,36(H/\Pi)^2, & R_{ip} &= 1 + 0,69(H/\Pi) - 0,41(H/\Pi)^2, \\ R_{im} &= 1 + 0,02(H/\Pi) - 0,08(H/\Pi)^2, & R_{id} &= 1 - 2,08(H/\Pi) + 1,63(H/\Pi)^2, \\ R_{bs} &= 1 + 0,18(H/\Pi) + 0,15(H/\Pi)^2, & R_{bp} &= 1 + 0,89(H/\Pi) - 0,35(H/\Pi)^2, \\ R_{bm} &= 1 + 0,32(H/\Pi) - 0,06(H/\Pi)^2, & R_{bd} &= 1 - 0,91(H/\Pi) + 0,67(H/\Pi)^2, \\ L_s &= 1 - 0,16(H/\Pi), & L_p &= 1 - 0,32(H/\Pi), \\ L_m &= 1 - 0,43(H/\Pi), & L_d &= 1 - 1,03(H/\Pi), \end{aligned}$$

где Н/П — наполнитель/полимерное вяжущее); R_{is} , R_{ip} , R_{im} , R_{id} и R_{bs} , R_{bp} , R_{bm} , R_{bd} — пределы прочности при изгибе и сжатии; L_s , L_p , L_m и L_d — подвижность, отн. ед., смесей клеевых и матричных составов, наполненных соответственно шлаком, портландцементом, мелом и диатомитом.

Графики изменения предела прочности при изгибе, сжатии и подвижности, построенные по математическим моделям, приведены на рис. 1, 2.



а



б

Рис. 1. Изменение предела прочности клеевых и матричных составов: а — при изгибе; б — при сжатии: 1 — наполнитель шлак; 2 — портландцемент; 3 — мел; 4 — диатомит

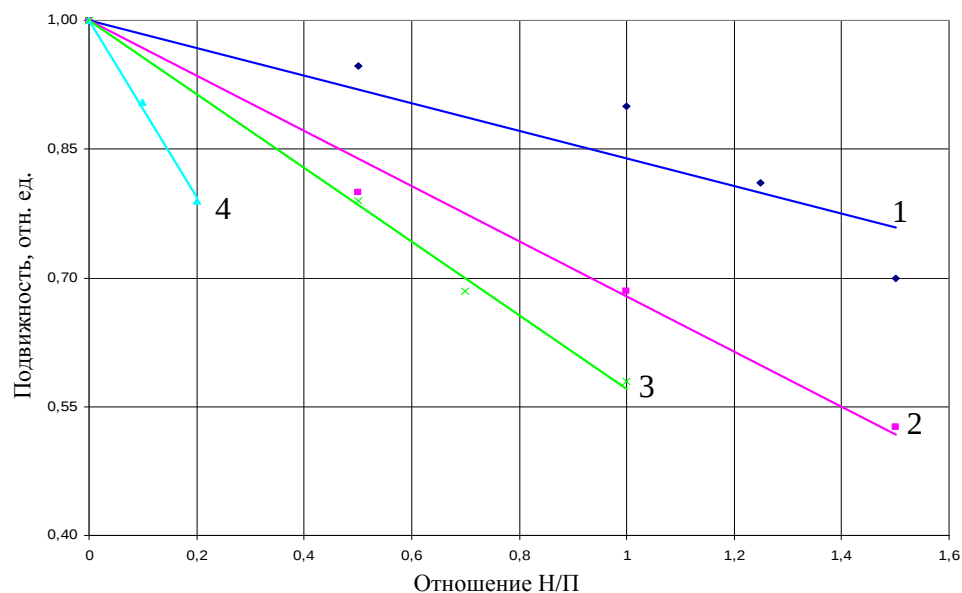


Рис. 2. Изменение подвижности наполненных клеевых и матричных составов: 1 — наполнитель шлак; 2 — портландцемент; 3 — мел; 4 — диатомит

Состав каркаса на ненаполненной клеевой композиции, принятый за контрольный, был следующим: ЭД-20 — 100 мас. ч., ПЭПА — 10 мас. ч., Аи-92 — 5 мас. ч., крупный заполнитель — 1900 мас. ч. Прочность контрольного состава каркаса составила при изгибе и сжатии соответственно 2,93 и 7,78 МПа.

Были получены следующие уравнения регрессии прочности при изгибе, сжатии и пустотности каркасов на наполненных клеевых композициях:

$$\begin{aligned}
 R_{isk} &= 1 - 0,85(N/P) + 1,43(N/P)^2, & R_{ipk} &= 1 + 0,40(N/P), \\
 R_{imk} &= 1 - 0,33(N/P), & R_{idk} &= 1 - 1,26(N/P), \\
 R_{bsk} &= 1 + 0,72(N/P) - 0,51(N/P)^2, & R_{bpk} &= 1 + 0,12(N/P), \\
 R_{bmk} &= 1 - 0,35(N/P), & R_{bdk} &= 1 - 2,51(N/P), \\
 \Pi_s &= 1 - 0,11(N/P), & \Pi_p &= 1 - 0,10(N/P), \\
 \Pi_m &= 1 - 0,13(N/P), & \Pi_d &= 1 - 0,26(N/P),
 \end{aligned}$$

где R_{isk} , R_{ipk} , R_{imk} , R_{idk} и R_{bsk} , R_{bpk} , R_{bmk} , R_{bdk} — пределы прочности соответственно при изгибе и сжатии, Π_s , Π_p , Π_m и Π_d — пустотность каркасов на составах, наполненных соответственно шлаком, портландцементом, мелом и диатомитом.

Графики изменения предела прочности каркасов при изгибе, сжатии и пустотности каркасов от степени наполнения клеевого состава приведены на рис. 3, 4.

На следующем этапе было изучено влияние количества и вида дисперсной металлической арматуры (ДМА) на свойства каркасов и каркасных композитов.

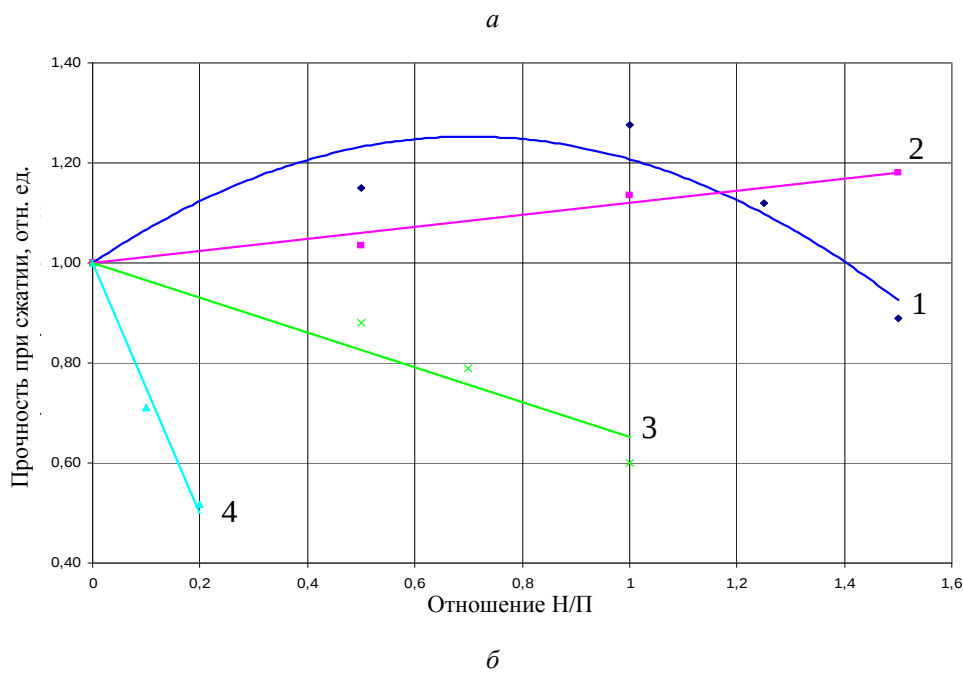
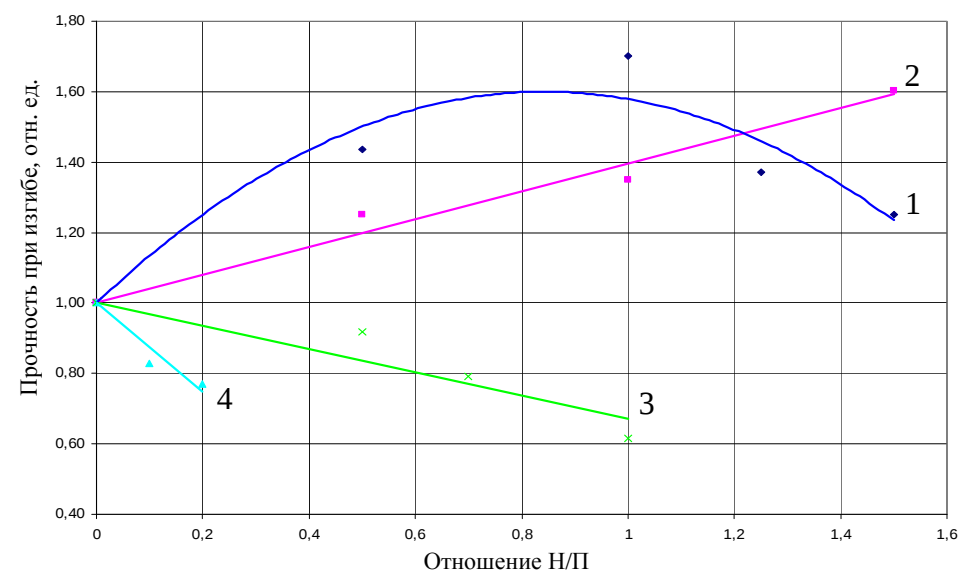


Рис. 3. Изменение предела прочности каркасов на заполненных клеевых композициях: *a* — при изгибе; *б* — при сжатии: 1 — наполнитель клея шлак; 2 — портландцемент; 3 — мел; 4 — диатомит

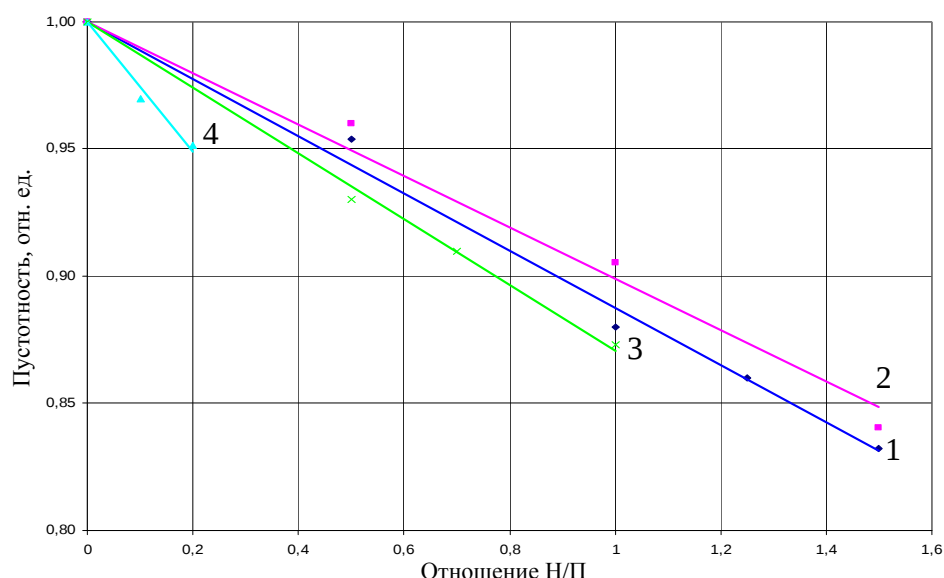


Рис. 4. Изменение пустотности каркасов на наполненных клеевых композициях: 1 — наполнитель шлак; 2 — портландцемент; 3 — мел; 4 — диатомит

Дисперсно-армированные каркасы приготавливали по технологии, описанной выше. В качестве арматуры применяли ДМА марки «Волна» с отношением длина/диаметр, равными 50/1, процент армирования по объему каркасных смесей составлял $\mu = 0, 0,75$ и $1,50$ %. Каркасы изготавливали на клее двух видов: с наполнением шлаком и портландцементом. За контрольные были приняты следующие составы: ЭД-20 — 100 мас. ч., ПЭПА — 10 мас. ч., бензин Аи-92 — 5 мас. ч., наполнитель — высокопрочный щебень марки 1200 фракции 5—10 мм — 1900 мас. ч. Количество наполнителя в составах каркаса было постоянным и равным при наполнении шлаком 100 мас. ч., портландцементом — 150 мас. ч.

Прочность при изгибе контрольных неармированных каркасов на клее, наполненном шлаком и портландцементом, составила соответственно 4,39 и 4,79 МПа, при сжатии — 8,42 и 9,04 МПа, начальный модуль упругости — 1464 и 1663 МПа, удельная ударная вязкость — 3,75 и 4,17 кДж/м², пустотность — 33,3 и 31,3 %.

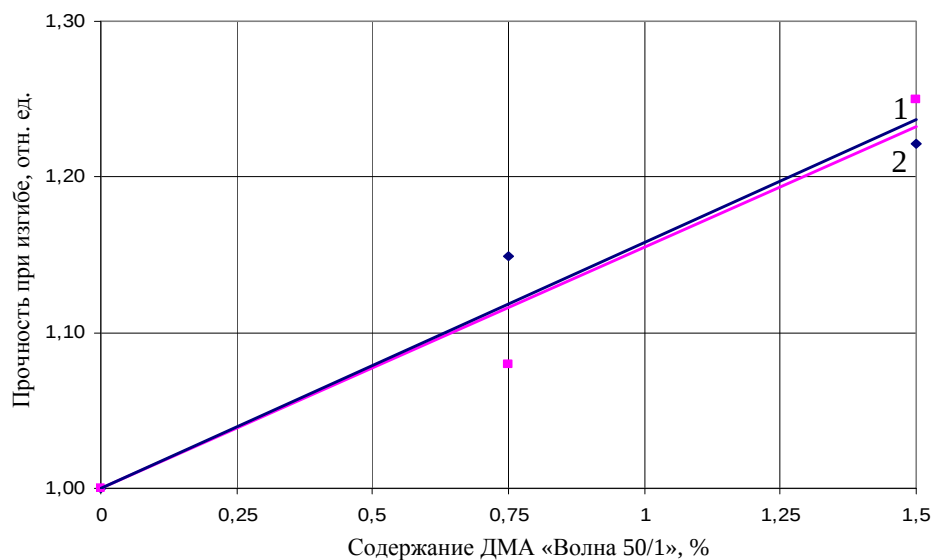
Были получены следующие модели изменения прочности при изгибе, сжатии и начального модуля упругости от количества ДМА «Волна 50/1»:

$$\begin{aligned}
 R_{ika}^s &= 1 + 0,158\mu, & R_{ika}^p &= 1 + 0,155\mu, \\
 R_{bka}^s &= 1 - 0,15\mu, & R_{bka}^p &= 1 - 0,07\mu, \\
 E_{bka}^s &= 1 - 0,35\mu, & E_{bka}^p &= 1 - 0,26\mu, \\
 A_{ka}^s &= 1 + 0,91\mu, & A_{ka}^p &= 1 + 1,15\mu, \\
 \Pi_{ka}^s &= 1 + 0,148\mu - 0,109\mu^2, & \Pi_{ka}^p &= 1 + 0,136\mu - 0,110\mu^2,
 \end{aligned}$$

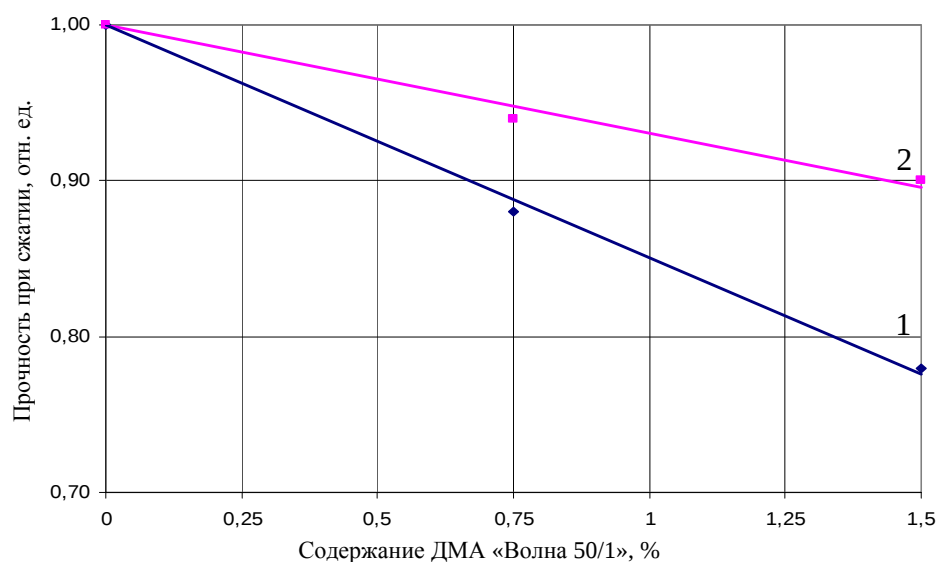
где R_{ika}^s , R_{ika}^p и R_{bka}^s , R_{bka}^p — пределы прочности соответственно при изгибе и сжатии; E_{bka}^s и E_{bka}^p — начальный модуль упругости при сжатии; A_{ka}^s и A_{ka}^p —

ударная удельная вязкость; IP_{ka}^s и IP_{ka}^p — пустотность каркасов на клеевых составах, наполненных шлаком и портландцементом.

Графики изменения прочности при изгибе, сжатии, начального модуля упругости, удельной ударной вязкости и пустотности дисперсно-армированных каркасов на наполненных шлаком и портландцементом клеевых составах, построенные по математическим моделям, приведены на рис. 5—8.



а



б

Рис. 5. Изменение предела прочности армированных каркасов на наполненных клеевых составах: а — при изгибе; б — при сжатии: 1 — наполнитель шлак; 2 — портландцемент

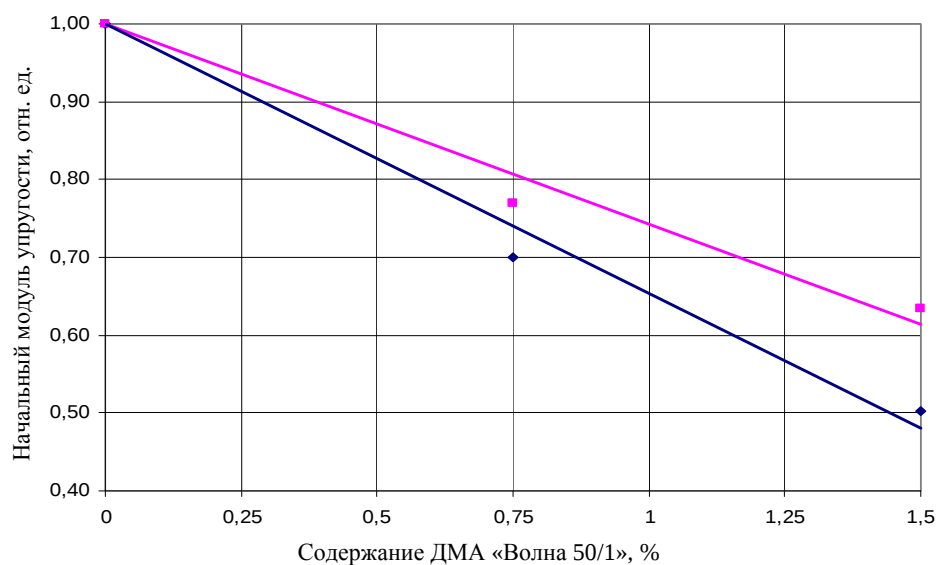


Рис. 6. Изменение начального модуля упругости при сжатии армированных каркасов на наполненных клеевых составах: 1 — наполнитель шлак; 2 — портландцемент

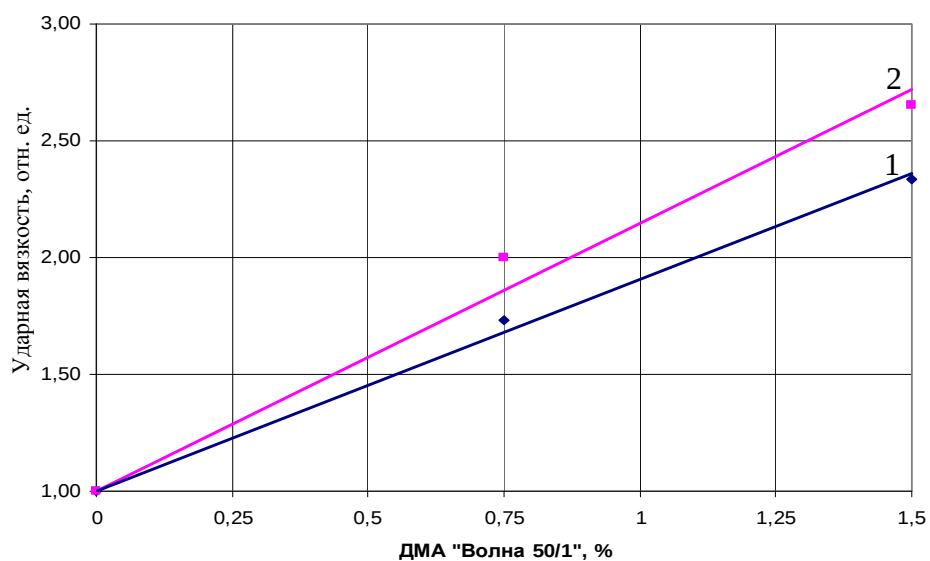


Рис. 7. Изменение удельной ударной вязкости армированных каркасов на наполненных клеевых составах: 1 — наполнитель шлак; 2 — портландцемент

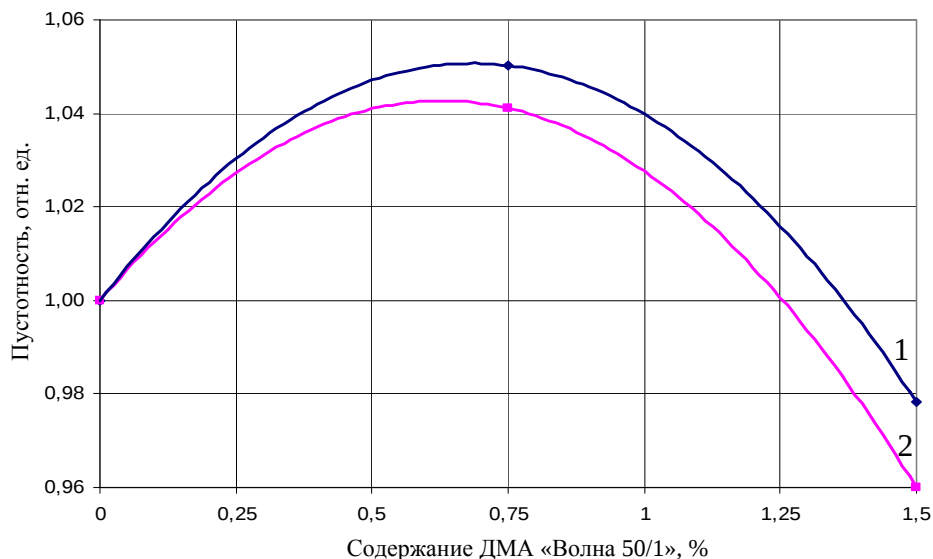


Рис. 8. Изменение пустотности армированных каркасов на наполненных клеевых составах: 1 — наполнитель шлак; 2 — портландцемент

Каркасные композиты получали путем пропитки дисперсно-армированных каркасов на клеях, наполненных шлаком и портландцементом (составы приведены выше), матрицей следующего состава: ЭД-20 — 100 мас. ч., ПЭПА — 10 мас. ч., бензин марки Аи-92 — 10 мас. ч.

Были получены следующие показатели прочности при изгибе, сжатии, средней плотности и удельной ударной вязкости контрольных составов дисперсно-армированных композитов на клеевых составах каркасов, наполненных шлаком и портландцементом соответственно: 14,5 и 14,1 МПа, 65,4 и 69,1 МПа, 2048 и 2057 кг/м³, 7,08 и 9,58 кДж/м².

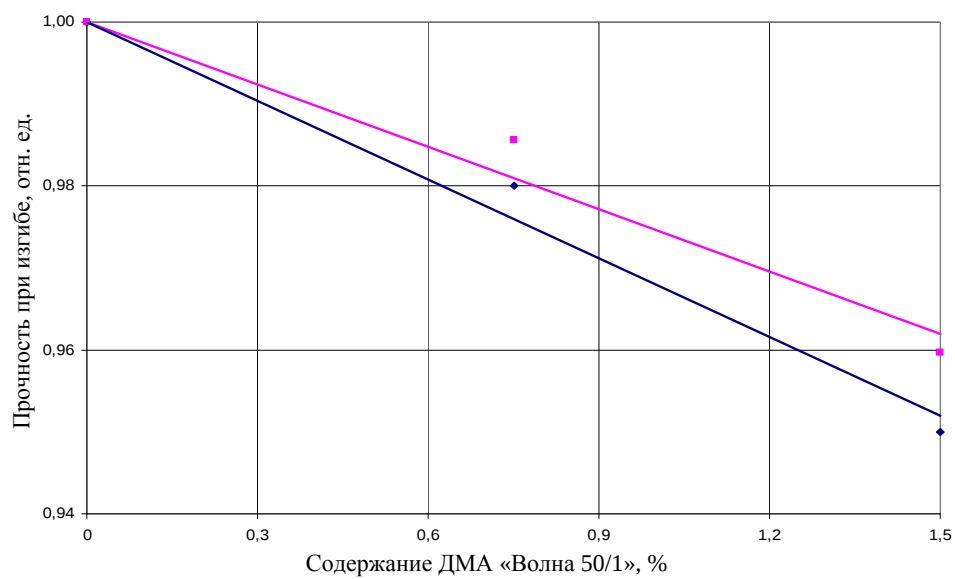
Математические модели изменения структурных и прочностных характеристик каркасных ДМА композитов от процента армирования по объему μ приведены ниже:

$$\begin{aligned} R_{isf}^{kk} &= 1 - 0,025\mu, \\ R_{bsf}^{kk} &= 1 + 0,043\mu, \\ \rho_s^{kk} &= 1 + 0,036\mu, \\ A_{ys}^{kk} &= 1 + 1,60\mu, \end{aligned}$$

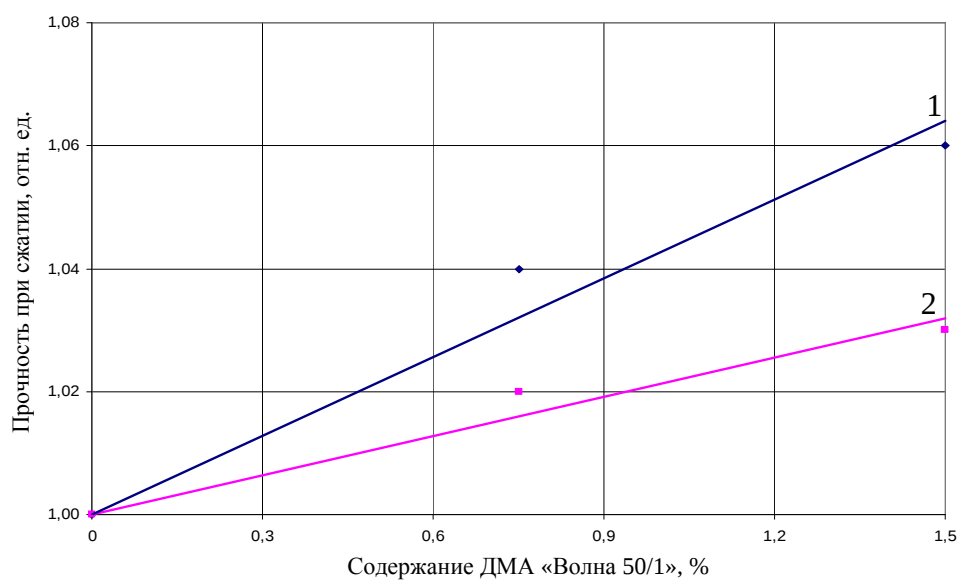
$$\begin{aligned} R_{ipf}^{kk} &= 1 - 0,032\mu, \\ R_{bpf}^{kk} &= 1 + 0,021\mu, \\ \rho_p^{kk} &= 1 + 0,018\mu, \\ A_{yp}^{kk} &= 1 + 1,01\mu, \end{aligned}$$

где R_{isf}^{kk} , R_{ipf}^{kk} и R_{bsf}^{kk} , R_{bpf}^{kk} — пределы прочности при изгибе и сжатии; ρ_s^{kk} и ρ_p^{kk} — средняя плотность; A_{ys}^{kk} и A_{yp}^{kk} — ударная удельная вязкость дисперсно-армированных композитов на клеевых составах каркасов, наполненных соответственно шлаком и портландцементом.

Графики изменения прочностных показателей каркасных композитов, армированных ДМА «Волна 50/1», на наполненных шлаком и портландцементом клеевых составах приведены на рис. 9—11.



a



b

Рис. 9. Изменение прочности дисперсно-армированных композитов: *a* — при изгибе; *b* — при сжатии: 1 — наполнитель шлак; 2 — наполнитель портландцемент

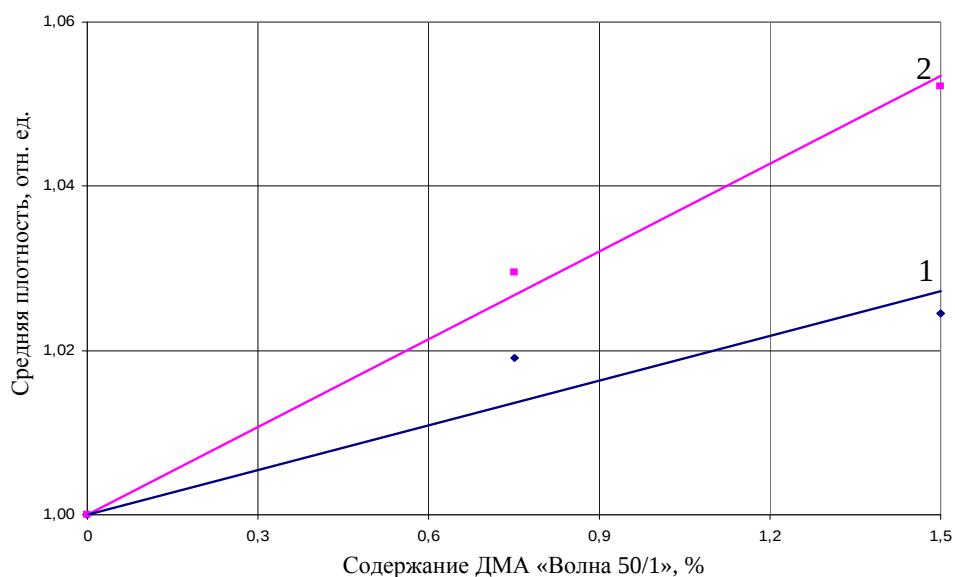


Рис. 10. Изменение средней плотности дисперсно-армированных композитов: 1 — наполнитель шлак; 2 — наполнитель портландцемент

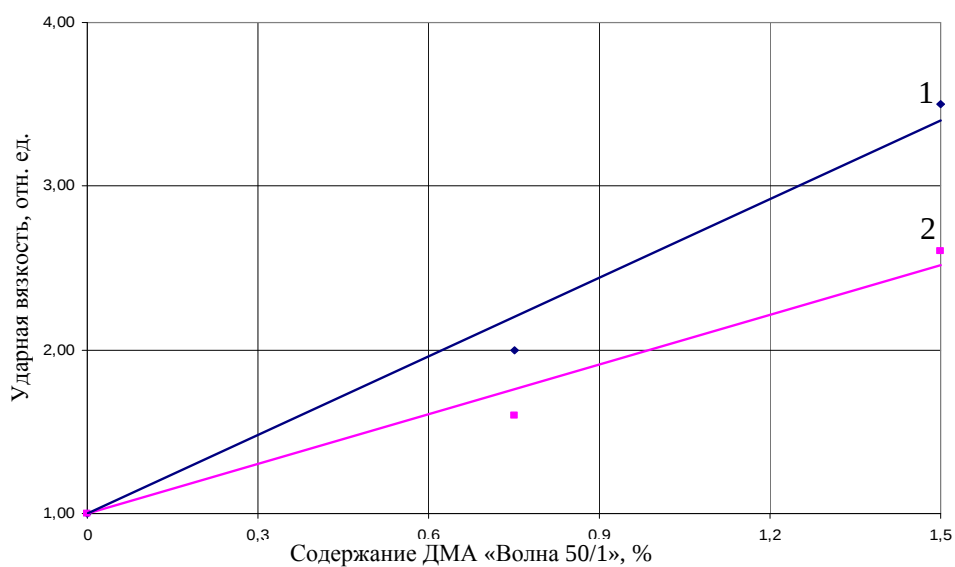


Рис. 11. Изменение удельной ударной вязкости дисперсно-армированных композитов: 1 — наполнитель шлак; 2 — наполнитель портландцемент

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Введение в клеевые и матричные составы наполнителей в виде шлака, портландцемента, мела и диатомита существенным образом влияет на прочность материала при изгибе и сжатии. Наполнение шлаком и портландцементом увеличивает прочность при изгибе соответственно на 45 и 30 %, а мелом и диатомитом снижает на 10 и 58 %. Прочность при сжатии составов, напол-

ненных шлаком, портландцементом и мелом, увеличивается соответственно на 60, 58 и 35 %, а диатомитом снижается на 30 % при максимальном содержании наполнителя.

2. Увеличение количества наполнителя в клеевых и матричных составах приводит к уменьшению подвижности смесей. Наименьшее снижение от степени наполнения происходит при расположении наполнителей в следующий ряд: шлак, портландцемент, мел и диатомит (коэффициенты при линейных членах математических моделей подвижности соответственно равны $-0,16$, $-0,32$, $-0,43$ и $-1,03$).

3. Прочность каркасов на изгиб при введении в клеевые составы наполнителей шлака и портландцемента увеличивается на 60 %, а мела и диатомита снижается соответственно на 30 и 25 %. Прочность каркасов при сжатии увеличивается соответственно на 25 и 18 % при введении шлака и портландцемента и снижается при наполнении мелом и диатомитом на 35 и 48 %.

4. Увеличение содержания наполнителей в клеевых составах приводит к уменьшению пустотности каркасов. При этом наименьшее снижение пустотности происходит при наполнении портландцементом, шлаком, мелом и диатомитом (коэффициенты при линейных членах математических моделей пустотности каркасов соответственно равны $-0,10$, $-0,11$, $-0,13$ и $-0,26$).

5. Увеличение содержания ДМА «Волна 50/1» в каркасах увеличивает прочность при изгибе на 23 % для каркасов, приготовленных на клеевых составах, наполненных шлаком и портландцементом. Полученные уравнения регрессии прочности при изгибе и пустотности каркасов в относительных единицах практически идентичны, а в абсолютных значениях более высокие значения получены при наполнении клея портландцементом.

6. Введение ДМА «Волна 50/1» в каркас приводит к увеличению удельной ударной вязкости в 2,3 и 2,7 раза, снижает прочность каркасов при сжатии на 23 и 10 %, начальный модуль упругости на 50 и 37 % соответственно для каркасов, приготовленных на клеях, наполненных шлаком и портландцементом.

7. Характер изменения пустотности каркасов при введении ДМА «Волна 50/1» для клеевых составов на шлаке и портландцементе одинаков и имеет параболический характер. Коэффициенты при линейном и квадратичном членах уравнений практически равны. Введение 0,75 % ДМА по объему увеличивает пустотность каркасов на 4—5 %, дальнейшее увеличение содержания арматуры приводит к уменьшению пустотности на 2—4 %.

8. Увеличение содержания ДМА «Волна 50/1» в каркасных композитах приводит к снижению прочности при изгибе на 4—5 %, увеличению прочности при сжатии на 3—6 %, средней плотности на 3—5 % и ударной вязкости в 2,5—3,4 раза.

9. Введение различных видов наполнителей и дисперсной металлической арматуры позволяет получать композиционные материалы каркасной структуры с требуемыми прочностными и эксплуатационными характеристиками, которые можно использовать для создания полов, дорожных и защитных покрытий, подвергающихся воздействию интенсивных истирающих и ударных нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Материалы, армированные волокном / пер. с англ. Л. И. Сычевой, А. В. Воловика. М. : Стройиздат, 1982. 180 с.
3. Курбатов Л. Г. Проектирование и изготовление сталефибробетонных конструкций: обзорная информация ЦНТИ Госгражданстроя. Л., 1985. 55 с.
4. Рабинович Ф. Н. Дисперсно-армированные бетоны. М. : Стройиздат, 1989. 177 с.
1. Karkasnye stroitelnye kompozity : v 2 ch. Ch. 1. Strukturoobrazovanie. Svoystva. Tekhnologia / V. T. Erofeev, N. I. Mishchenko, V. P. Selyaev, V. I. Solomatov ; pod red. V. I. Solomatova. Saransk : Izd-vo Mordov. un-ta, 1995. 200 s.
2. Materialy, armirovannye voloknom / per. s angl. L. I. Sychevoy, A. V. Volovika. M. : Stroyizdat, 1982. 180 s.
3. Kurbatov L. G. Proektirovanie i izgotovlenie stalefibrobetonnykh konstruksii: obzornaya informatsiya TsNTI Gosgrazhdanstroya. L., 1985. 55 s.
4. Rabinovich F. N. Dispersno-armirovannye betony. M. : Stroyizdat, 1989. 177 s.

© Леснов В.В., Салимов Р.Н., Ерофеев В.Т., 2011

Поступила в редакцию
в октябре 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Леснов В.В., Салимов Р.Н., Ерофеев В.Т. Исследование свойств дисперсно-армированных эпоксидных композитов каркасной структуры на наполненных клеевых составах // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 4(19).