

УДК 666.973

В. Н. МОРГУН^а, Л. В. МОРГУН^б, А. Ю. БОГАТИНА^с^а Южный Федеральный университет, ^б Донской государственной технической университет, ^с Ростовский государственный университет путей сообщения

О ВЗАИМОСВЯЗИ СТРУКТУРЫ БЕТОНОВ С ИХ ДЕМПФИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

Аннотация. Выполнено обоснование причин повышения прочности и демпфирующих свойств пенобетонов неавтоклавно твердения при дисперсном армировании их волокнами. Рассмотрена взаимосвязь между устойчивостью макроструктуры пенобетонных смесей и полнотой насыщения их дисперсной газовой фазой. Показано, что дисперсный волокнистый компонент сырья (фибра) способствует ускорению фазового перехода смесей из вязкого состояния в упругое. Установлено, что улучшение демпфирующих свойств исследуемых бетонов корреляционно связано с количеством фибры в их структуре.

Ключевые слова: пенобетонная смесь, фибра, демпфирующие свойства, пенобетон.

Бетон, как самый распространенный строительный материал, не имеет альтернативы в обозримом будущем по ряду причин:

- сырьем для производства большинства разновидностей бетонов являются широко распространенные природные каменные материалы [1, 4];
- современная стройиндустрия способна изготавливать бетоны с плотностью от 200 до 3 500 кг/м³ и прочностью до 200 МПа [2, 3], т. е. со свойствами, удовлетворяющими требованиям к практически любым строительным конструкциям.

Поэтому поиск и разработка способов совершенствования эксплуатационных свойств бетонов конкретного назначения являются актуальными.

В данной работе будет рассмотрена взаимосвязь между особенностями макроструктуры пенобетонов и их эксплуатационными свойствами, потому что потребность строительного комплекса страны в энергоэффективных, пожаробезопасных и ресурсосберегающих материалах постоянно растет [5, 6]. Одним из важнейших недостатков газонаполненных бетонов (пено- и газо-), изготавливаемых по практически любой технологии является их малая прочность на растяжение [7–9]. Анализ макроструктурных особенностей таких бетонов показывает, что в зависимости от способа формирования в них пористости межпоровые перегородки, отвечающие за эксплуатационные свойства материала, могут иметь разную меру дефектности [10, 11]. Поэтому одной из важнейших задач современной технологии пенобетонов является разработка рецептурных и технологических приемов, с помощью которых можно уменьшать число дефектов в межпоровых перегородках, повышать их устойчивость к знакопеременным и пульсирующим нагрузкам и, таким образом способствовать улучшению их эксплуатационных свойств.

Теоретическая и фактическая прочности материалов, как правило, существенно различаются. Реальная прочность материалов в разы меньше теоретической [12, 13]. Причиной перечисленных различий являются дефекты структуры твердой фазы, формирующиеся при технологической переработке сырья. Повышение прочности материалов и улучшение их демпфирующих свойств возможно как при упорядочении структуры новообразований, возникающих в результате их химического взаимодействия и фазовых переходов, так и при совершенствовании рецептуры сырьевых компонентов.

Демпфирующим свойством называется способность материалов превращать механическую энергию в тепло. В материаловедении это свойство особо ценно потому, что в настоящее время строительные материалы эксплуатируются в условиях интенсивного действия знакопеременных и динамических циклических нагрузок. Об уровне демпфирующих свойств материалов судят по динамике уменьшения или величине их прочности на растяжение при изгибе.

В материалах, структура которых состоит из дисперсных частиц зернистой формы, при повышении демпфирующих свойств прочности на сжатие и растяжение при изгибе уменьшаются [14]. Если в результате совершенствования рецептуры и технологии в материале вместе с прочностью растут и демпфирующие свойства [15, с. 329], то это свидетельствует о появлении нанокристаллов в его структуре. Слои нанокристаллов, которые способны обеспечивать одновременное повышение прочности и демпфирующих свойств материалов, получают разными способами.

Ячеистобетонные смеси относятся к сложным композициям, состоящим из грубодисперсных частиц заполнителя (зернистой и/или волокнистой форм) и цемента в воде, внутри которых дисперсно распределены газовые включения сферической формы. Анализ физических свойств компонентов, составляющих такие смеси, показывает, что по величине истинной плотности они различаются более чем на два порядка. Поэтому можно утверждать, что длительность периода фазового перехода от вязкого состояния к твердому, в связи с действием гравитационных сил, будет регламентировать меру их дефектности.

В процессе изготовления таких смесей все их компоненты перемещаются в пространстве с разной скоростью. Разница в скоростях движения частиц потока управляет как напряжениями растяжения в жидкой фазе, так и величиной равновесной концентрации ПАВ в объеме смеси. Вектор движения компонентов дисперсных фаз в смесительном агрегате постоянно меняется. Изменение направления движения обуславливает появление в жидкой фазе дисперсионной среды изгибающих, сдвиговых и крутящих напряжений. Результатом проявления таких напряжений является искривление поверхности раздела фаз «газ-жидкость». Искривленной поверхности энергетически выгодно замкнуть газовую фазу внутри жидкой. Стабилизация газовой фазы внутри жидких пленок ПАВ возможна только в том случае, если пленки обладают свойством упругости [14, 16].

Экспериментально установлено, что несмотря на высокое начальное водосодержание пенобетонных смесей, образование пленок ПАВ вынуждает часть объемной воды, перешедшей в физически связанное состояние, переместиться из межчастичного объема в пленки на границу раздела «газ-жидкость» [16]. Достоверность установленного факта подтверждается результатами следующего эксперимента.

Были приготовлены две одинаковые по расходу портландцемента и песка смеси с содержанием ПАВ в количестве 1 % от расхода воды. Перемешивание одной из них осуществлялось осторожно, так, чтобы воздухововлечение было минимально возможным. Перемешивание другой смеси осуществлялось в турбулентном смесителе при скорости рабочего органа 80 с^{-1} .

Контроль начальной пластической прочности свежеприготовленных смесей показал, что у приготовленных смесей она различается примерно в 1,5 раза. У смеси, приготовленной вручную, она составила 22,7 Па. Пенобетонная смесь, изготовленная в смесителе, обладала пластической прочностью в 36,2 Па. После их укладки в стеклянные цилиндры высотой 600 мм было обнаружено, что смесь с малым содержанием газовой фазы расслоилась в течение 20 минут. А пенобетонная смесь, приготовленная в смесителе, сохранила полученную при перемешивании структуру и со временем затвердела. Отсюда следует, что суспензии, в составе которых большая часть ПАВ располагается на поверхности раздела фаз «газ-жидкость», оставаясь термодинамически неравновесными системами, оказываются способными к достижению седиментационной и агрегативной устойчивости.

Введение в структуру смесей, состоящих из дисперсных частиц зернистой формы волокон дисперсной арматуры, с соотношением длины к диаметру $(l/d) \gg 1000$, позволяет им достигать сразу после приготовления пластической прочности 45...58 Па, что указывает на повышение внутренних сил сцепления в 1,5...2,0 раза.

Размер внутренних сил сцепления управляет траекториями возможных перемещений частиц твердой дисперсной фазы после завершения их перемешивания. Если силы сцепления меньше гравитационных, то в период преобладания вязких связей между компонентами в смеси формируется расслоение по высоте уложенного слоя. Расслоение всегда негативно сказывается на механических и стойкостных свойствах затвердевшего материала. Если силы сцепления больше гравитационных, то дисперсные частицы твердой фазы движутся к поверхности, обладающей максимальным энергетическим потенциалом. Учитывая результаты определения пластической прочности свежеприготовленных пенобетонных смесей, такой поверхностью в их составе является дисперсная арматура.

Поэтому траектории движения мельчайших частиц при агрегации их в кластеры будут направлены к поверхности фибры, а порядок упаковки – определяться геометрическими размерами зернистых частиц и конфигурацией дисперсной арматуры.

Установлено, что направленная сборка гидратных соединений цементного вяжущего на поверхности заполнителя волокнистой формы приводит к ускоренному переходу от вязкопластичной дисперсной системы к упругой [16]. Ранее высказанная гипотеза подтверждается результатами экспериментальных исследований прочности, установленной на образцах-близнецах в различные сроки твердения (рис.).

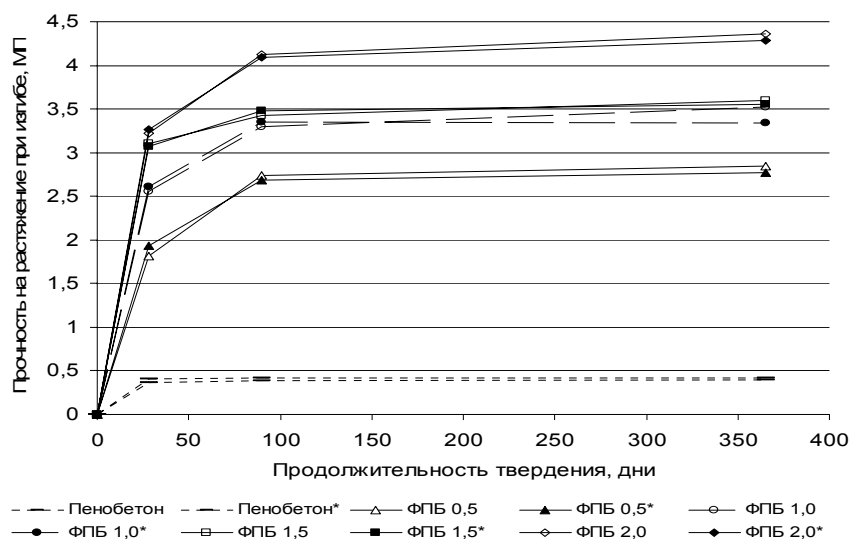


Рисунок – Динамика прочности пенобетонов на растяжение при изгибе в зависимости от количества дисперсной арматуры и времени твердения.

Анализ полученных результатов показывает, что пенобетоны после 28-и дней нормального твердения практически не изменяют величины прочности несмотря на то, что в цементном камне продолжают процессы формирования гидратных новообразований. Полагаем, что причиной их стабилизации является вклад в прочность противоположно направленных процессов контракционной усадки цементного камня и гидратирующих клинкерных минералов. Соотношение между прочностью на растяжение при изгибе и прочностью на сжатие, характеризующее демпфирующие свойства материала, составляет около 0,1.

Фибропенобетоны демонстрируют рост прочности в течение всего периода наблюдений пропорционально количеству дисперсной арматуры. Наблюдается превышение прочности на сжатие по отношению к пенобетону от 20 до 35 %. Прочность на растяжение при изгибе превышала этот показатель у пенобетона в 6...10 раз (рис.). Характеристика демпфирующих свойств фибропенобетонов была пропорциональна количеству дисперсной арматуры и составляла от 0,45 до 0,8.

ВЫВОДЫ

Опираясь на полученные результаты, можно утверждать, что фибра, как протяженная поверхность раздела фаз в составе пенобетонной смеси, создает комфортные условия для ускоренного формирования кластеров дисперсных частиц зернистой формы в период начального структурообразования. Она является подложкой, на которой происходит упорядоченное осаждение новообразований цементного камня, в результате чего в структуре пенобетона появляется нанокристаллические образования, обеспечивающие повышение прочностных и демпфирующих свойств этого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Формирование структуры высокопрочных бетонов [Текст] / Р. Ф. Рунова, И. И. Руденко, В. В. Троян, В. В. Товstonис, С. П. Щербина, Л. Д. Пашина // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2008. – № 29. – С. 91–97.

2. Моргун, Л. В. Приемы управления эксплуатационной надежностью пенобетонов [Текст] / Е. Р. Чумакин, Л. В. Моргун // Технологии бетонов. – 2014. – № 9(98). – С. 37–39.
3. Чумакин, Е. Р. Ячеистый бетон и его перспективы [Текст] / Е. Р. Чумакин // СтройПРОФИль. – 2008. – № 5(67). – С. 58.
4. Несветаев, Г. В. Анализ материалов для производства бетонов класса В40 и выше во Вьетнаме [Электронный ресурс] / Г. В. Несветаев // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Том 7, № 3. – Режим доступа : <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-3>.
5. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ // Российская газета – Федеральный выпуск. – 2009. – № 5050 (226). – Режим доступа : <https://rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html>.
6. Маркевич, А. И. Для тех, кто заработал возможность выбирать [Текст] / А. И. Маркевич, Б. Г. Охота // Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве : сб. науч. тр. Вып. 3 / ред.: В. И. Большаков ; Приднепр. гос. акад. стр-ва и архит. – Севастополь, 2007. – С. 236–248.
7. Kudyakov, A. I. Heat insulating reinforced airhardened foamed concrete / A. I. Kudyakov, A. B. Steshenko // Vestnik TSUAB. – 2013. – № 4. – P. 60–65.
8. Моргун, Л. В. Инженерное решение задачи повышения эксплуатационной надежности пенобетонов [Текст] / Л. В. Моргун // Бетон и железобетон – взгляд в будущее : научные труды I Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и ж/б (Москва, 12–16 мая 2014). В 7 т. Т. 5. Новые эффективные бетоны и технологии. Легкие и ячеистые бетоны. Образование и подготовка кадров / [ред. кол.: Б. В. Гусев, А. И. Звездов, А. Г. Тамразян, В. Р. Фаликман] ; РАН ; Мин-о строит. и жилищ. коммунал. хоз. РФ, РИА, Мин-о образ. и науки РФ, МГСУ, НИЦ «Строительство», Ассоциация «Железобетон». – Москва : МГСУ, 2014. – С. 309–314.
9. Герга, А. Н. Управление свойствами композиционных материалов. Перколяционный подход [Текст] / А. Н. Герга, В. Н. Выровой // Вестник ОГАСА. – 2005. – № 20. – С. 56–61.
10. Мартыненко, В. А. Методика исследования пористой структуры ячеистого бетона [Текст] / В. А. Мартыненко // Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. – 2002. – № 10. – С. 51–56.
11. Моргун, В. Н. Структура межпоровых перегородок в пенобетонных смесях [Текст] / В. Н. Моргун, Л. В. Моргун // Строительные материалы. – 2014. – № 4. – С. 84–86.
12. Николаева, Е. А. Основы механики разрушения [Текст] : Уч. пособие / Е. А. Николаева. – Пермь : Пермский госуд. техн. ун-т, 2010. – 103 с.
13. Смирнов, Б. М. Физика фрактальных кластеров [Текст] / Б. М. Смирнов. – М. : Наука, 1991. – 136 с.
14. Комохов, П. Г. Технологические принципы конструирования композиционных материалов на основе минеральных вяжущих [Текст] / П. Г. Комохов, Муса Массуд // Современные проблемы строительного материаловедения : Сборник трудов Международной научно-технической конференции. В 2-х частях. Часть 1 / Самарская государственная архитектурно-строительная академия. – Самара : СамГАСА, 1995. – С. 5–7.
15. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Текст] / А. И. Гусев. – М. : Физматлит, 2005. – 416 с.
16. Моргун, В. Н. Эволюция структуры дисперсной газовой фазы при изготовлении пенобетонной смеси [Текст] / В. Н. Моргун, Л. В. Моргун, К. И. Костыленко // Строительные материалы. – 2014. – № 6. – С. 15–17.

Получено 08.04.2017

В. М. МОРГУН ^a, Л. В. МОРГУН ^b, А. Ю. БОГАТИНА ^c
 ПРО ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК СТРУКТУРИ БЕТОНІВ З ЇХ
 ДЕМПФІРУВАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

^a Південний Федеральний університет, ^b Донський державний технічний університет,

^c Ростовський державний університет шляхів сполучення

Анотація. Виконано обґрунтування причин підвищення міцності і демпфірувальними властивостями пінобетонів неавтоклавного твердіння при дисперсному армуванні їх волокнами. Розглянуто взаємозв'язок між стійкістю макроструктури пінобетонних сумішей і повнотою насичення їх дисперсною газовою фазою. Показано, що дисперсний волокнистий компонент сировини (фібра) сприяє прискоренню фазового переходу сумішей з в'язкого стану в пружне. Встановлено, що поліпшення демпфірувальних властивостей досліджуваних бетонів кореляційно пов'язано з кількістю фібри в їх структурі.

Ключові слова: пінобетонна суміш, фібра, демпфірувальні властивості, пінобетон.

VOLODYMYR MORGUN ^a, LYUBOV MORGUN ^b, ALLA BOGATINA ^c
ON THE RELATIONSHIP OF THE STRUCTURE OF CONCRETE WITH THEIR
DAMPING PROPERTIES

^a Southern Federal University, ^b Don State Technical University, ^c Rostov State Transport University

Abstract. The reasons for the increase in strength and damping properties of foam concrete of non-autoclaved hardening in the case of dispersed fiber reinforcement have been substantiated. The relationship between the stability of the macrostructure of foam concrete mixes and the completeness of their saturation with the dispersed gas phase has been considered. It has been shown that the dispersed fibrous component of the raw material (fiber) facilitates the acceleration of the phase transition of mixtures from the viscous state to the elastic state. It has been established that the improvement of the damping properties of the concrete under study is correlatively related to the amount of fiber in their structure.

Key words: foam concrete mix, fiber, damping properties, foam concrete.

Моргун Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерных дисциплин Южного Федерального университета. Научные интересы: технологические и рецептурные приемы управления усадочной деформативностью пенобетонов.

Моргун Любовь Васильевна – доктор технических наук профессор кафедры строительных материалов Донского государственного технического университета, член-корреспондент Российской инженерной академии. Научные интересы: развитие теории газонаполненных дисперсных систем на основе минеральных вяжущих веществ.

Богатина Алла Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры изысканий, проектирования и строительства железных дорог Ростовского государственного университета путей сообщения. Научные интересы: разработка технологии материалов, устойчивых к воздействию транспортных нагрузок.

Моргун Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних дисциплін Південного Федерального університету. Наукові інтереси: технологічні та рецептурні прийоми управління осадною деформативністю пінобетонів.

Моргун Любова Василівна – доктор технічних наук, професор кафедри будівельних матеріалів Донського державного технічного університету, член-кореспондент Російської інженерної академії. Наукові інтереси: розвиток теорії газонаповнених дисперсних систем на основі мінеральних в'язучих речовин.

Богатіна Алла Юрійвна – кандидат технічних наук, доцент кафедри вишукування, проектування і будівництва залізниць Ростовського державного університету шляхів сполучення. Наукові інтереси: розробка технології матеріалів, стійких до впливу транспортних навантажень.

Morgun Volodymyr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Engineering Disciplines Department, Southern Federal University. Scientific interests: technology and prescription techniques to control shrinkage deformation of foam concrete.

Morgun Lyubov – D. Sc. (Eng.), Professor, Building Materials Department, Don State Technical University, corresponding member of the Russian Academy of Engineering. Scientific interests: development of the theory of gas dispersion systems based on mineral binders.

Bogatina Alla – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Surveying, Designing and Construction of Railways Department, Rostov State Transport University. Scientific interests: development of technology of materials resistant to traffic loads.