

DOI: 10.12737/23549

Панченко Л.А., канд. техн. наук, доц.,
Юрьев А.Г., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МНОГОУРОВНЕВОЕ АРМИРОВАНИЕ КОНГЛОМЕРАТОВ

Panchenko.bstu@mail.ru

Строительные конгломераты представлены как многоуровневые дисперсные системы, состоящие из компонентов, каждый из которых детерминированно-стохастически размещен в достаточно непрерывной матрице, которая по своим механическим и другого рода свойствам отличается от включений. Для четырехуровневого конгломерата (крупнозернистого бетона) рассмотрено эффективное армирование на каждом уровне. Формирование многоуровневой дисперсной системы может быть составной частью синтеза конфигурации несущей конструкции.

Ключевые слова: армирование конгломератов, матрица, микротрещины, синтеза конфигурации конструкции.

Строительные конгломераты – сложные многоуровневые дисперсные системы, состоящие из компонентов, каждый из которых детерминированно-стохастически размещен в достаточно непрерывной матрице, которая по своим механическим и другого рода свойствам отличается от включений.

Типичными представителями конгломератов являются бетон и железобетон. И если бетон появился еще в античные времена, то начало эпохи железобетона относят к середине XIX века, когда возникла практическая возможность включения металлических стержней и сеток в бетонные тела с целью повышения несущей способности и противостояния трещинообразованию.

С развитием теории бетона было установлено, что такого рода армирование останавливает развитие трещин только на одном структурном уровне материала. Влияние на прочность на других структурных уровнях оставалось в пределах повышения прочности цементного камня. Справедливости ради, следует сказать, что при надлежащем сцеплении цементного камня с заполнителями его прочность на растяжение сама по себе несколько возрастает.

Развитие индустрии в XX веке способствовало появлению новых идей армирования конгломератов. Обратили внимание на минеральные, органические и искусственные волокна и композиты на их основе. При их введении потенциал сопротивления разрушению дополняется слагаемыми, связанными с такими явлениями, как деформирование волокна, нарушение контакта с матрицей, выдергивание волокна из матрицы или его разрыв.

Рассмотрим теоретические предпосылки многоуровневого армирования конгломератов. Прежде всего, должно быть соответствие материалов матрицы и включения по химическим свойствам, что выражается в отсутствии нарушения естественной целостности структур.

Например, волокна не должны разрушаться в щелочесодержащей среде цементной матрицы. Должны также соблюдаться соразмерность армирующих элементов и компонентов среды того или иного уровня, обеспечение надлежащей анкеровки волокон, для чего их длина должна в 3–5 раз превосходить размер трещин. Наконец, объемная доля армирующих элементов ставится в соответствие показателю концентрации трещин определенного уровня конгломерата.

В результате прежний конгломерат, подвергавшийся под действием внешних сил хрупкому разрушению, становится материалом, в значительной мере сопротивляющимся растягивающим напряжением в теле. Процесс его разрушения тормозится присутствием армирующих элементов на всех уровнях структуры. Многоуровневое армирование создает противостояние росту и развитию дефектов, начиная от субмикродо макротрещин [1–6].

Рассмотрим четырехуровневый конгломерат и предпосылки его армирования. Начнем с нижнего уровня – цементирующего вещества. В качестве его матрицы рассматривают морфологические разности новообразований скрытокристаллического и кристаллического характера. Основные новообразования цементного камня имеют частицы размером 0,04 ... 0,2 мкм и микроразмеры размером около 0,08 мкм. Субмикротрещины перекрываются относительно протяженными кристаллогидратами новообразований длиной до 3–5 мкм. Такого рода самоармирование является достаточно эффективным противостоянием трещинам в ранние сроки твердения (14–28 суток).

Следующим является уровень цементного микробетона, матрицей которого является цементирующее вещество. С учетом присущих микробетону микротрещин размером 10...80 мкм у материаловедов появилась идея армирования волокнами длиной 1–5 мм и диаметром

10–50 мкм. Наряду с волокнами природного происхождения это могут быть и стекловолокна.

Следует сказать, что эта идея, практически осуществимая в рамках микробетона как такового, наталкивается на определенные технологические трудности при наличии в конгломерате крупного заполнителя. Возможное комкование волокон лишает их в большинстве нужного адресата.

Цементный микробетон является матрицей следующего уровня конгломерата – мелкозернистого бетона. Ему присущи трещины размером 0,1...0,9 мм. Им могут противостоять армирующие элементы длиной 1...5 см и диаметром 0,1...0,8 мм. Это могут быть, например, металлические, минеральные, углеродные волокна.

Самым высоким является уровень крупнозернистого бетона, матрицей для которого служит мелкозернистый бетон. В качестве элементов, блокирующих макротрещины используется стержневая металлическая или стеклопластиковая арматура, размещаемая в соответствии с характером деформирования несущего элемента.

Представленная схема армирования на четырех уровнях имеет, как отмечено выше, определенные технологические сложности на уровне цементного микробетона. В то же время она может быть трансформирована в три уровня, то есть для мелкозернистого бетона как такового.

С учетом синергетических эффектов взаимодействия различных элементов армирования вязкость разрушения мелкозернистого бетона возрастает до трех раз. Вытекающее отсюда трехкратное повышение трещиностойкости в значительной мере компенсирует расходы (160 %) на многоуровневое армирование, так что мелкозернистый бетон с многоуровневым армированием оказывается примерно в 1,5 раза эффективнее обычного конгломерата [1–6].

Отметим, что наряду с упомянутыми выше минеральными и углеродными волокнами в последнее время эффективно используются полимеры, армированные стекловолокном [7]. Стеклофибробетон сочетает в себе положительные свойства компонентов – высокую прочность бетона на сжатие и стекловолокна на растяжение. В совокупности два компонента обеспечивают прочность на растяжение в 3–4 раза большую, чем у бетона. По сравнению с бетоном прочность на растяжение при изгибе больше в 4–5 раз, а ударная вязкость – в 15–20 раз.

Стекловолокна могут иметь различную длину, диаметр и процентное содержание в бетоне. Эти параметры влияют на прочностные и деформационные характеристики стеклофибробетона. Поэтому в зависимости от напряженно-деформированного состояния областей конструкции можно использовать различные клас-

сы стеклофибробетона. Происходит своего рода управление расположением материалов в конструкции.

Механизм и содержание процесса формирования напряженно-деформированного состояния в системе «конгломерат – конструкция – среда» непосредственно связаны с проблемой оптимизации конструкций.

Законы структурообразования, вытекающие из принципа стационарного действия и прослеживающиеся в организации природы, должны проявляться и в доведенных до совершенства инженерных конструкциях [8].

В то же время процесс эволюционной оптимизации организмов существенно отличается от способов оптимизации в технике. Свободу инженера сдерживает сложность учета большого числа переменных проектирования. Для природы этот фактор не имеет существенного значения, что позволяет получить лучшие результаты.

К тому же идентификация организмов и инженерных конструкций возможна до определенного предела, обусловленного правомочностью ввода тех или иных феноменологических характеристик материалов (модулей упругости, вязкости и др.). Последние не укладываются в рамки подхода, основанного на принципах молекулярной организации. В структуре живой ткани приспособление конструкции к выполняемой функции берет начало на клеточном уровне, что трудно идентифицируется с моделируемым поведением материала в технике.

Аналогичные проблемы возникают в процессе идентификации и формализации структурно-неоднородных конгломератов на этапе анализа или синтеза строительной конструкции. Предположения об однородности структуры могут привести к занижению осредненных напряжений и введений соответствующего коэффициента.

Если о конструировании бетона мы говорим в несколько уточненном смысле, то для железобетона это слово применимо в полной мере. Размеры и расположение арматурных стержней (или других элементов) соответствуют законам механики деформированного твердого тела, приложенным к конкретному типу конструкции. Они не обладают степенями свободы, присущим зернам мелкого и крупного заполнителя при производстве бетона.

Формирование конгломерата и его армирование рассматривается от низшего к высшему масштабному уровню структуры, а синтез конфигурации конструкции ведется от высшей категории к низшей. Сначала предполагается множество возможных вариантов проектируемой системы, на следующих двух уровнях об-

суждаются варианты топологии и геометрии. Наконец, на самом низком уровне определяется окончательно сформированная конструкция с размерами элементов и выбранными материалами. Формирование многоуровневых дисперсных систем может явиться составной частью синтеза несущих конструкций.

Успехи инженеров-конструкторов и материаловедов оцениваются по исходному критерию, приложенному к нескольким вариантам конструкции и материалов. Большое число переменных проектирования и существенное различие в их представлении затрудняет на сегодняшний день использование известных методов оптимизации решения.

Поуровневая оптимизация, строго говоря, противоречит принципу стационарного действия, отнесенному к цельной системе (включая материал). Но в первом приближении к истинному решению она может дать полезные результаты [9, 10].

В заключение остается выразить надежду на дальнейшее сближение позиций инженеров-конструкторов и материаловедов-технологов в деле создания оптимальных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И., Макеев А.И. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов: вопросы материаловедческого обобщения и развития теории. Воронеж: ВГА-СУ. 2012. 97 с.
2. Чернышов Е.М., Макеев А.И. Синтез и конструирование структур бетонов нового поколения с позиций управления однородностью – неоднородностью их строения // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения: Восьмые академические чтения отделения строительных наук РААСН/Изд-во Самарского госуд. Арх.-строит. ун-та. Самара, 2004. С. 561–565.
3. Чернышов Е.М., Макеев А.И. Разрушение конгломератных строительных материалов: основные концепции, механизмы процессов, принципы и закономерности управления // Строительные материалы. №9. 2007. С. 63–65.
4. Макеев А.И. Масштабные эффекты в работе конгломератных строительных композитов // Вестник Гражданских Инженеров. №3(20). 2009. С. 139–143.
5. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология / Пер. с англ. С.Л. Баженова. М.: Техносфера, 2004. 408 с.
6. Рабинович Ф.Н. Об уровнях дисперсности армирования бетонов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1981. №11. С. 30–36.
7. Панченко Л.А. Строительные конструкции с волокнистыми композитами. Белгород: БГТУ. 2013. 184 с.
8. Юрьев А.Г. Естественный фактор оптимизации конструкций. Белгород: БГТУ. 2003. 110 с.
9. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Мостафа Осман, Ата Эль-Карим Шосиб, Павленко В.И. Эффект усиления круглых железобетонных колонн волокнистыми композитами // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 20–22.
10. Зинькова В.А. Оптимизация топологии металлических ферм // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2014. №2. С. 37–40.

Panchenko L.A., Yuriev A.G.

MULTI-LEVEL REINFORCEMENT CONGLOMERATES

Construction conglomerates are presented as a multilevel disperse systems consisting of components, each of which deterministically-stochastically placed in a relatively continuous matrix, which by its mechanical and other properties different from inclusions. For a four-level conglomerate (coarse-grained concrete) is considered an effective reinforcement on every level. The formation of multilevel disperse systems can be an integral part of the synthesis configuration of the supporting structure.

Key words: reinforcement conglomerates, matrix, microfractures, synthesis of the design configuration.

Панченко Лариса Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: Panchenko.bstu@mail.ru

Юрьев Александр Гаврилович, доктор технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.