

УДК 666: 519.8

ДИНАМІКА РОЗВИТКУ СТРУКТУР БЕТОНІВ

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ СТРУКТУР БЕТОНОВ

DYNAMICS OF DEVELOPMENT OF STRUCTURES OF CONCRETES

Коробко О.О., к.т.н., доц., Вировой В.М., д.т.н., проф., Тофанило В.Ю., аспірант, Уразманова Н.Ф., асистент (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Коробко О.А., к.т.н., доц., Вировой В.Н., д.т.н., проф., Тофанило В.Ю., аспірант, Уразманова Н.Ф., асистент (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Korobko O. A., candidate of technical sciences, docent, Vyrovoy V.N., doctor of technical sciences, professor, Tofanilo V.U., post-graduate student, Urazmanova N.F., assistant (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture)

В статті представлено аналіз організації структури бетону як сіті взаємопов'язаних процесів та явищ на мікро- і макрорівнях структурних неоднорідностей з урахуванням теплових ефектів та об'ємних деформацій.

В статье представлен анализ организации структуры бетона как сети взаимосвязанных процессов и явлений на микро- и макроуровнях структурных неоднородностей с учетом тепловых эффектов и объемных деформаций.

In this paper is presented an analysis of the organization structure of concrete as a network of interrelated processes and phenomena on micro- and macrolevels of structural heterogeneities considering thermal effects and volume deformations.

Ключові слова:

Бетон, рівні структурних неоднорідностей, теплові ефекти, об'ємні деформації, система, підсистема, сіть.

Бетон, уровни структурных неоднородностей, тепловые эффекты, объемные деформации, система, подсистема, сеть.

Concrete, levels of structural heterogeneities, thermal effects, volume deformations, system, subsystem, network.

Введение.

В работе [1] бетон представлен как материал полиструктурного строения [2] с характерными уровнями неоднородностей, каждый из которых включает комплекс собственных подструктур с уникальным набором элементов. Все составные части бетона связаны определенными взаимоотношениями и инициируют организацию друг друга через положительные и отрицательные обратные связи. Реализация взаимодействий структурных составляющих происходит как на отдельных уровнях, так и на уровне структуры бетона. Это обусловлено тем, что сам бетон может создавать и проявлять себя в виде иерархии неоднородностей, являющихся его подсистемами и одновременно системами для образующих их подструктур [3]. Таким образом, все процессы самопроизводства структуры сложносоставленного материала объединены в единую сложную динамическую сеть непрерывных взаимозависимых циклов зарождений, преобразований и дополнений [4]. Бетон как система с весьма неоднородным исходным составом будет самопроизвольно выстраивать пути взаимного влияния различных уровней неоднородностей и самоинициации процессов и явлений при организации своей интегральной структуры. Можно предположить, что должно осуществляться своеобразное координирование материальных составляющих системы путем локализованных направленных энергетических и деформационных потоков для обеспечения ее требуемого макросостояния, ответственного за проявление уровня свойств. В начальный период наиболее активно протекают процессы, сопровождающиеся выделением тепла и изменением объемов. Принятая модель бетона позволяет выделить тепловые и объемные деформации в качестве элементов общей сети взаимодействий, градиенты которых способны оказывать существенное влияние на его структурное оформление. Исходя из этого, была определена задача исследований – проанализировать роль и участие деформационных явлений в самопостроении бетона как сложноорганизованного материала и выявить факторы управления их градиентами.

Влияние тепловых и объемных деформаций на структурообразование бетона.

Для решения поставленной задачи достаточно выделить неоднородности структуры бетона на уровне частиц вяжущего (микроструктура) и на уровне заполнителей и матричного материала (макроструктура).

При некоторых допущениях и предположениях, микроструктура была представлена в виде многофазной гетерогенной высококонцентрированной грубодисперсной лиофобной системы с лиофильной границей раздела фаз [2], что позволило проанализировать ее структурную организацию с учетом неуровневенных межчастичных взаимодействий. Процессы на уровне частиц вяжущего являются основополагающими для структурообразования бетона как сложной динамической системы. Это связано с тем, что основные структурные и вещественные изменения микроструктуры инициируют все последующие преобразования бетона на всех уровнях неоднородностей. При

этом доминирующее положение занимают физико-механические процессы, в результате которых происходит образование кластерных структур (агрегатов) из зерен вяжущего [5], и физико-химические процессы, обуславливающие модификацию их поверхности [6]. Протекание этих процессов и вызываемых ими явлений на микроуровне провоцирует развитие термических эффектов и объемных деформаций, передаваемых и воспринимаемых другими уровнями неоднородностей, которые в ответ реагируют на них соответствующими перестройками своей структуры.

Система с достаточно сложным исходным составом самопроизвольно выстраивает пути самоинициации физико-химических, физических и физико-механических процессов. Одно из главных мест в этих процессах занимают тепловые эффекты, возникающие как следствие и являющиеся причиной углубления явлений самоорганизации. Для выявления факторов управления процессами самодвижения системы важно учитывать не совокупные энергетические явления, а ее внутреннее стремление к порядку, которое реализуется через градиенты ионов, температур, концентраций.

Анализ работ показал [7, 8], что первый пик тепловыделения связан с образованием дисперсной системы и вызван переформированием поверхности раздела из состояния «твердое - газообразное» в состояние «твердое - жидкое». При адсорбции ассиметричных молекул воды на твердой поверхности частиц дисперсной фазы выделяется часть энергии. Количество этой энергии должно быть пропорционально площади поверхности раздела и поверхностному натяжению на границе раздела фаз (углу смачивания). Применение среднего значения справедливо только в случае близких по размеру мономинеральных частиц. При условии использования частичек разных размеров, даже одинаковой природы, возможна флюктуация изменения температуры из-за изменения их теплоемкости, которая зависит, при прочих равных условиях, от массы (объема) частиц. Из-за различных значений площади поверхности и размера, температура поверхности частиц, объема частиц и дисперсионной среды будет различной, $T_1 \neq T_2 \neq T_n$. Возникают градиенты температур, обусловленные внутренней диффузией, обтеканием, скольжением по поверхности, стеканием, обменом зарядов. Локальные возмущения в дисперсной системе вероятны даже при мономинеральном составе частиц. Полиминеральная природа зерен вяжущего только увеличивает число флюктуаций. Это провоцируется неодинаковой теплоемкостью минералов, различным ориентированием индивидуальных минералов в объеме частиц, диффузией, а также различием коэффициентов смачивания (краевых углов смачивания), что ведет к формированию зон локального тепловыделения по числу минеральных составляющих.

Первый пик тепловыделения при образовании дисперсно-водной системы включает сложные экзотермические эффекты, вызывающие локальные, неравновесные состояния, и предопределяет протекание дальнейших физико-

химических и физико-механических процессов. Для анализа на начальных этапах гидратации можно принять модель зерна цемента [9], предложенную Тейлором Х. В., и представляющую собой фрагмент полиминеральной частицы, в которой соседствующие минералы C_3A и C_3S обладают различной химической активностью и, следовательно, отличаются скоростью взаимодействия с водой. Уже при τ_1 температура на поверхности минерала C_3A выше, чем у минерала C_3S и в окружающей дисперсионной среде. Это ведет к достаточно быстрой миграции вновь образованных ионов в среду, интенсификации химических реакций минерала C_3A и активизации химических процессов на границе раздела минералов C_3A и C_3S . Углубление протекания химических процессов способствует увеличению градиентов температур между минералами и между минералами и дисперсионной средой (особенно с учетом разнесенных во времени процессов образования и роста зародышей и кристаллов на поверхностях раздела и образования зародышей в периферийных зонах дисперсионной среды).

В полиминеральных и полидисперсных системах реализуется многоочаговый механизм гидратации, что инициирует энергетический хаос. При этом важно, что явления, которые возникают как следствия определяющих процессов, могут стать доминантными при инициации химических явлений с химически менее активными компонентами. Кроме того, локальные изменения рН дисперсионной среды из-за различной растворимости минералов, в совокупности с локальными температурными градиентами, вызывают локальное изменение концентрации ионов, что ведет к локализации процессов зародышеобразования и, в итоге, флуктуации вещественного состава и плотности. Достижение ККЗ ионами различных веществ создает сложный коктейль аморфной составляющей. На наш взгляд, образование кристаллов ограничивается не недостатком определенных ионов, а их связыванием в образования, в которых отсутствует дальний порядок. Это резко ограничивает подвижность ионов и способствует формированию стекловидной составляющей.

Физико-химические процессы организации структуры бетона на уровне частиц вяжущего являются источником зарождения объемных деформаций. Следует отметить, что термин «сопутствующие процессам гидратации», применяемый к изменениям объема и температур, становится не актуальным на определенном этапе организации микроструктуры, когда начинают проявляться процессы навязывания системе определенных направлений поведения.

Деформации возникают при образовании системы в момент адсорбции на поверхностях частиц дисперсной фазы молекул дисперсионной среды с другими межмолекулярными расстояниями. В силу полиминеральности и полидисперсности исходного состава вяжущего происходит неравномерное изменение локальных объемов зерен различной природы и размеров. Также непропорционально изменяется объем дисперсионной среды. Как следствие,

по частицам и жидкой фазе распространяются волны деформаций. Изменение плотности в отдельных зонах частиц, границ раздела и среды ведет к инициации процессов направленной диффузии, энергетическому изменению состояния поверхности раздела двух фаз, локальному изменению концентрации ионов. С учетом градиентов термоэффектов, объемные деформации существенно определяют самоорганизацию микроструктуры.

По нашему мнению, необходимо учитывать время релаксации тепловых градиентов и градиентов деформаций, связанных с изменением объемов. Релаксация градиентов температуры в значительной степени зависит от коэффициентов теплопроводности и способов передачи энергии, особенно на границах раздела фаз. Релаксация градиентов объемных деформаций определяется скоростью распространения звука в данной среде, плотностью среды и наличием межфазных границ раздела.

Сравнение скоростей распространения температуры и деформаций показало, что скорость передачи энергии при физическом воздействии на порядки превышает скорость передачи тепловой энергии. Однако это не дает оснований выделять деформации как доминирующие в процессе энергетического состояния становящейся системы. Возникнув в результате комплекса разноплановых процессов, деформации определяют пути структурной перестройки. Развиваясь в полиминеральном зерне, что предполагает естественную разную плотность, деформации ведут к созданию токов переноса тепла, что, в свою очередь, стимулирует кинетику гидратации и обуславливает формирование новых деформационных потоков.

Взаимобусловленность тепловых и деформационных процессов не позволяет рассматривать их изолированно друг от друга и от процессов, которые происходят в системе. Возникнув как результат уже произошедших событий, тепловые эффекты и деформации определяют грядущие процессы, участвуя, тем самым, в организации микроструктуры и составляя портрет системы в движении, в динамике ее естественного существования.

Представление бетона как полиструктурного материала предполагает, что микроструктура является составной частью макроструктуры, которую можно выделить в качестве неоднородности «матричный материал - заполнители». Заполнители в бетонной смеси располагаются по отношению друг к другу в произвольной ориентации и на различных расстояниях. Группы заполнителей и заключенный между ними матричный материал образуют структурные ячейки, которые отличаются между собой формой, определяемой способами упаковки и взаимной ориентацией заполнителей; размерами, которые зависят от расстояний между включениями и соотношением адгезионно-когезионных сил связи на границах раздела между матрицей и заполнителями [5]. При этом матричный материал, в качестве которого выступает микроструктура, принимается как неоднородная среда со сложной внутренней организацией, действующая как единое целое. Организация макроуровня осуществляется в результате взаимодействия матрицы с заполнителями и сопровождается

проявлением градиентов объемных деформаций и явлений формоизменения на границах раздела между ними [2]. Деформации передаются с одного уровня неоднородностей на другой в виде деформационных волн и таким образом включаются в общую сеть процессов самопостроения интегральной структуры бетона путем взаимной инициации структурного оформления друг друга [10].

Распределение частиц вяжущего по кластерам приводит к образованию взаимосвязанной паутины межкластерных границ раздела на микроуровне. Одновременно с этим образуются поверхности раздела между матричным материалом (микроструктурой) и заполнителями. Непрерывные объемные изменения структурных агрегатов обуславливают развитие деформационных процессов на границах раздела между ними, что ведет к локализации и проявлению градиентов деформаций в различных объемах микроструктуры. При этом формируется начальная волна, в результате которой градиенты деформаций микроуровня передаются на уровень макроструктуры. Это вызовет самопроизвольное формоизменение поверхностей раздела между матрицей и заполнителями, неповторимое для каждой структурной ячейки, что отразится на условиях межчастичных и межфазных взаимодействий, продолжающихся в микроструктуре, и инициирует новый поток деформаций. Формирование возвратных волн перехода объемных деформаций с уровня на уровень позволяет неоднородностям структуры бетона оказывать влияние на организацию друг друга путем взаимных возмущающих воздействий. При этом следует осознавать, что каждый из уровней может только направлять структурные преобразования других подсистем бетона, но не определять их. Управление структурообразованием микро- и макроструктур осуществляется их собственным внутрисистемным потенциалом, они сами решают каким образом и в какой степени реагировать на возможные изменения своего окружения. Исходя из этого, представляется рациональным разделять движущие силы (условия) того или иного совершающегося процесса (явления) на факторы управления и факторы неспецифической активации. И те, и другие закладываются в бетон при формовании изделия, но первые отвечают за структурную организацию уровня, составляющими которого они являются, а вторые выступают в качестве внешних воздействий, подталкивающих оформление структуры взаимодействующих уровней на определенные пути и формы развития.

Для микроструктуры к характерным факторам управления можно отнести качественный и количественный составы вяжущего, посредством которых направленно изменяют процессы ее структурообразования [2], тем самым, осуществляя наводящие действия на формирование макроструктуры. Это позволяет выделить исходный состав дисперсной фазы как фактор непрямо (неспецифической) активации самопроизводства структуры макроуровня. По отношению к микроструктурной неоднородности факторами косвенного влияния следует представить параметры структурных ячеек, которые в то же

время проявляют себя как внутренние характеристики макроструктуры, определяя протяженность и конфигурацию внешних границ матричного материала, а также условия его адгезии к поверхности заполнителя. Можно предположить, что в зависимости от типа упаковки, ориентации и природы заполнителей в ячейках будут изменяться периоды формирования и кинетика объемных деформаций микроструктуры.

Опыты, проведенные на моделях структурных ячеек, показали, что сроки схватывания и объемные деформации матричного материала, позволяющие косвенно оценить интенсивность преобразований микроструктуры, могут изменяться до 2,5 часов и 30%, соответственно, при различных способах упаковки заполнителей, а при изменении состояния их поверхности – до 1,5 часов и 45% (рис.1).

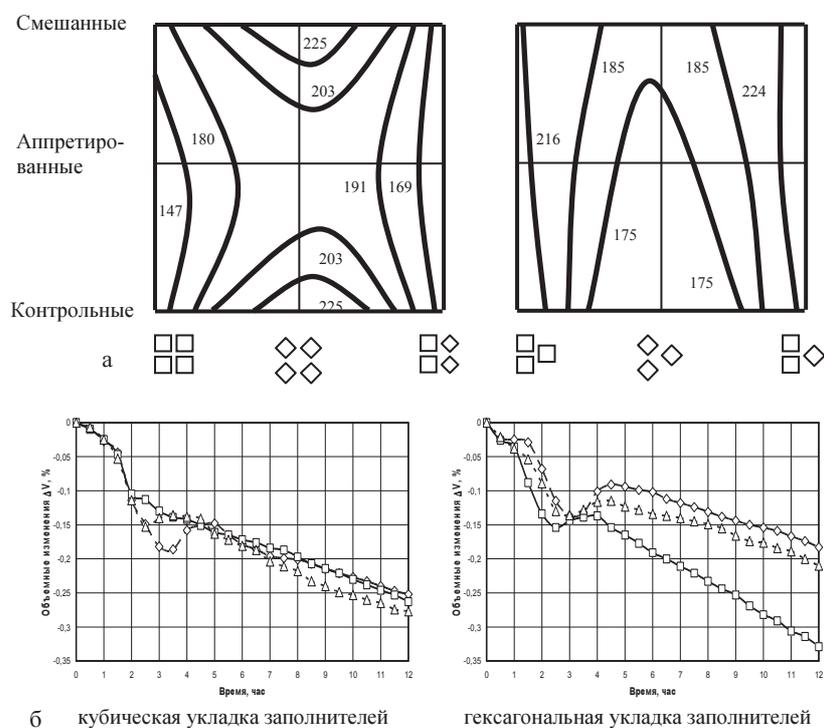


Рис.1. Влияние параметров макроуровня на начало схватывания, мин, (а) и объемные деформации, %, (б) микроструктуры:

◆ Контрольные; ■ Аппретированные; ▲ Смешанные.

Выводы.

Таким образом, можно заключить, что структурообразование бетона как определенной иерархии уровней структурных неоднородностей происходит в результате взаимовлияния определенных процессов и явлений, связанных между собой по сетевому принципу. Под сетью понимается особый порядок организации структуры сложных динамических систем, при котором они производят сами себя за счет взаимообусловленных циклов структурных изменений. Все элементы сети участвуют в зарождении или преобразовании друг друга. Это предполагает высокоупорядоченную динамику развития структуры бетона путем координации совместной деятельности его структурных составляющих на различных уровнях неоднородностей. В начальный период наиболее активно проявляют себя тепловые и объемные деформации, определяющие пути организации микроструктуры как уровня, что их инициировал. Задавать градиенты деформационных процессов и, тем самым, управлять построением структур бетона на уровне частиц вяжущего можно изменением не только состава дисперсной фазы, но и параметров макроуровня. Периоды формирования микроструктуры увеличиваются до 2,5 часов при различных типах укладки, ориентации и состоянии поверхности заполнителей, а значения объемных деформаций могут изменяться до 30-45%. Это свидетельствует о возможности управления и неспецифической активации структурного оформления, как самого бетона, так и уровней его отдельных неоднородностей, что следует учитывать при назначении составов и технологических режимов производства конкретных строительных изделий и конструкций.

1. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов / Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др. – Ташкент: ФАН, 1991. – 345с. **2.** Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. – К.: Будівельник, 19991. – 144с. **3.** Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / Прангишвили И.В. – М.: «Синтег», 2000. – 519с. **4.** Капра Ф. Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем. – К.: «София», М.: ИД «София», 2003. – 336с. **5.** Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. – Одесса: Изд-во «ТЭС», 2010. – 169с. **6.** Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Фролов Ю.Г. – М.: Химия, 1982. – 400с. **7.** Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов / Мчедлов-Петросян О.П. – М.: Стройиздат, 1989. – 304с. **8.** Ушеров-Маршак А.В. Тепловыделение цемента / Ушеров-Маршак А.В. – М.: ВНИИЭСМ, 1980. – 68с. **9.** Taylor H.F. Chemistry of Cement Hydration / H.F. Taylor // 8-th Inter. Congr. On the Chem. Of Cement. – Rio-de-Janeiro. – 1986. – P.82-110. **10.** Тофанило В.Ю. Роль собственных деформаций бетона в обеспечении работы конструкций / В.Ю. Тофанило, О.А. Коробко, В.Н. Выровой // Вісник ОДАБА. – Одесса, 2014. – Вип.54. – С.370-376.