

Міністерство освіти і науки України
Рівненський державний технічний університет
Академія будівництва України
Північно-Західне територіальне відділення

**РЕСУРСОЕКОНОМНІ МАТЕРІАЛИ,
КОНСТРУКЦІЇ, БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ**

Збірник наукових праць
Випуск 6

Видавництво Рівненського державного технічного університету
Рівне 2001

Збірник наукових праць затверджений Президією ВАК України як фахове видання (Бюлетень ВАК України, № 6, 1999 р.)

Матеріали збірника розглянуті на засіданні Вченої ради університету і рекомендовані до видання (протокол №4 від 27 квітня 2001 р.).

Наведені нові результати фундаментальних та прикладних досліджень за пріоритетними напрямками: ресурсоекономні технології в будівництві; нові та удосконалені будівельні матеріали і конструкції; проектування, зведення та підсилення конструкцій, будівель і споруд.

Призначений для наукових працівників, спеціалістів проектних організацій і виробничих підприємств будівельної галузі, докторантів, аспірантів та студентів навчальних закладів будівельного напрямку.

Редакційна колегія

Є.М. Бабич, докт. техн. наук, проф., академік АБУ - відповідальний редактор (Рівненський державний технічний університет); **О.П. Борисюк**, канд. техн. наук., доцент - відповідальний секретар (Рівненський державний технічний університет); **А.Я. Барашиков**, докт. техн. наук, проф., академік АБУ (Київський національний університет будівництва і архітектури); **Б.Г. Гнідець**, докт. техн. наук, проф., академік АБУ (Львівський державний університет "Львівська політехніка"); **Л.І. Дворкін**, докт. техн. наук., проф., академік АБУ (Рівненський державний технічний університет); **А.Ф. Дмитрієв**, докт. техн. наук, проф., академік АБУ (Рівненський державний технічний університет); **В.С. Дорофєєв**, докт. техн. наук, проф., академік АБУ (Одеська державна академія будівництва і архітектури); **Ф.Є. Клименко**, докт. техн. наук, проф., академік АБУ (Львівський державний аграрний університет); **Л.Ф. Кожушко**, докт. техн., наук, доцент, член-кореспондент АБУ (Рівненський державний технічний університет); **Г.Х. Масюк**, канд. техн. наук., доцент (Рівненський державний технічний університет); **С.Ф. Пічугін**, докт. техн. наук, проф., академік АБУ (Полтавський державний технічний університет ім. Ю. Кондратюка).

Адреса редколегії:
33000, м. Рівне, вул. Соборна, 11, РДТУ

ISBN 966-7447-21-9 © Рівненський державний технічний університет, 2001

Аналогично получены и исследованы ЭСМ, описывающие влияние “усредненного” суперпластификатора на прочность бетона при растяжении. Характер изоповерхностей для этого вида прочности несколько иной, чем при сжатии, а скорость роста прочности при изгибе с введением суперпластификатора меньше. Чувствительность $v\{R_{bt}\}$ к изменению состава добавки также растет с увеличением ее количества, но мало зависит от содержания цемента в бетоне и удобоукладываемости смеси.

Выводы. Экспериментально-статистические модели позволяют “проигрывать” различные варианты рецептуры и технологии бетона с добавками и определять общий характер их влияния на свойства бетона. Введение суперпластификаторов позволяет эффективно управлять прочностью при сжатии и растяжении, однако выбор SP целесообразно вести с учетом особенностей напряженного состояния бетона при его работе в конструкции.

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. 2 изд. -М., 1998.-768 с. 2. Ohia, A.; Sugiyama, T.; Tanaka, Y.: Fluidizing Mechanism and Application of Polycarboxylate-Based Superplasticizers /Fifth CANMET/ACI Int. Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Italy (1998).- V.1. -P. 246-260. 3. Коваль С.В. Поиск технологических условий оптимальной модификации строительных композитов. Вопросы современного строительного материаловедения и строительства.- Львов: “НОЗ”, 1998. -с.88-100. 4. Lyashenko, T.; Voznesensky, V.; Qawasmeh, K.: Experimental-statistical Modeling and Analysis of Properties of Mortars with Additives /13 Int Baustofftagung, Waimar (1997). - V. 2. -P. 607-618.

УДК 666. 94. 017

Коробко О.А., инж., Выровой В.Н., д.т.н., профессор, Закорчменный Ю.О., инж. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Рассмотрены механизмы организации структуры мономинеральных и полиминеральных композиций с учетом их начального минералогического состава. Установлена взаимосвязь между качественными характеристиками исходных компонентов и условиями структурообразования дисперсных систем.

Для цементного камня характерна взаимосвязь между его начальным составом, особенностями образования структуры и конечными эксплуатацион-

ными свойствами [1]. Изучение условий взаимодействия исходных компонентов цементного камня в зависимости от их вида и технологических характеристик в период начальной организации твердеющей композиции позволяет более полно прогнозировать потенциальные возможности формирующегося материала.

При затворении цемента водой образуется термодинамически неустойчивая система, характеризующаяся высокой концентрацией разнородных дисперсных частиц и наличием развитой поверхности раздела между твердой фазой и жидкой средой. Структурообразование подобных систем обусловлено стремлением неуравновешенной цементно-водной композиции к термодинамическому равновесию за счет снижения поверхностной энергии [2]. Уменьшить внутреннюю энергию формирующаяся система может в результате сокращения межфазной поверхности путем спонтанного объединения частиц дисперсной фазы в структурные агрегаты (кластеры), а также вследствие модификации границ раздела за счет появления продуктов гидратации и образования зародышей [3]. Вид и строение кластерных структур зависят от соотношения размеров и форм контактирующих частиц, их минералогического состава, концентрации в объеме материала и кинетики протекания гетерогенных реакций на поверхности мономинеральных и полиминеральных элементов дисперсной фазы.

Условия межчастичных контактных взаимодействий и силы сцепления дисперсных частиц в дискретных агрегатах в значительной мере определяют минералогическими характеристиками исходных компонентов твердеющего материала. Представляет интерес изучение механизмов организации кластерных структур с учетом особенностей начального качественного состава формирующейся цементной системы.

Рассмотрим механизмы формирования структуры мономинеральных и полиминеральных вяжущих композиций. Представим модель дисперсной системы, состоящей из частиц одинакового минералогического состава, неоднородных по дисперсности и находящихся на различном расстоянии друг от друга. Организация структурных агрегатов в условиях равновесия формирующейся композиции по химическим характеристикам, строению и поверхностной активности исходных минералов осуществляется вследствие флуктуации составляющих элементов твердеющего материала по массе, размерам и межчастичному расстоянию [4]. Наличие в рассматриваемой системе частиц меньшей дисперсности, по отношению к остальным, обуславливает их назначение в качестве "структурообразующих" центров. Это объясняется тем, что интенсивность сил взаимодействия между крупной и мелкими частицами выше, чем у мелких друг с другом. Рядовые мономинеральные компоненты вяжущей композиции группируются вокруг частиц большего размера, образуя упорядоченные дискретные блоки (рис. 1а). Высокая концентрация дисперсной фазы формирующейся системы предполагает неуравновешенное расположение исходных элементов вяжущего друг относительно друга в объе-

ме материала. Возникает вероятность организации кластеров в результате усиления контактных взаимодействий за счет уменьшения расстояния между дисперсными частицами. В этом случае перемещение отдельных минералов будет происходить в сторону частиц, находящихся на меньшем межчастичном расстоянии (рис. 16).

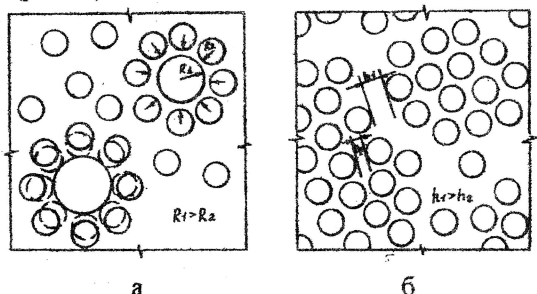


Рис. 1. Механизмы организации структуры мономинеральной системы

Появление продуктов новообразований на поверхности клинкерных мономинералов вызывает изменение объема и массы минеральных компонентов вяжущего, а также расстояния между ними. Несмотря на адекватный минералогический состав, изменение размеров гидратирующихся частиц происходит неравномерно. В силу поликристаллического строения минералов клинкера на их поверхности присутствуют дефекты различного вида [5]. В местах дефектов гидратационные свойства компонентов вяжущего возрастают. Создаются предпосылки для неупорядоченного распределения продуктов новой фазы на поверхности минеральных частиц, в результате повышения концентрации гидратных веществ в зонах дефектов и локализации процессов зародышеобразования, что, в свою очередь, приводит к неравномерному изменению объемов мономинералов, величины их поверхностной активности и межчастичного расстояния. Происходит переорганизация условий формирования дискретных агрегатов в твердеющем материале. Анализ возможных механизмов кластерообразования вяжущей композиции, состоящей из частиц одного состава, показал, что организация структуры мономинеральной дисперсной системы определяется дисперсностью ее составных компонентов и расстоянием между ними.

Наличие в дисперсной композиции мономинеральных частиц двух различных химико-минералогических составов вызывает изменение механизмов формирования кластеров. В условиях несоответствия исходных компонентов формирующейся системы по химической природе, основными факторами, определяющими механизмы распределения рядовых элементов по структурным агрегатам, будут являться величина поверхностной активности дисперсных частиц, скорость их взаимодействия с водой и процентное содержание минералов каждого вида в составе твердеющей композиции. В зависимости от объемного соотношения составных компонентов в вяжущей системе воз-

можно несколько вариантов организации кластерных структур. В результате повышенного содержания одного из двух видов мономинеральных частиц в формирующемся материале возникает вероятность локальной концентрации в объеме системы компонентов одинакового минералогического состава, которые вступают между собой в контактные взаимодействия с образованием дискретных блоков из частиц одной химической природы (рис. 2а). При этом организация кластеров обусловлена флуктуацией отдельных минералов по размерам и межчастичному расстоянию. При равномерном распределении мономинеральных частиц различного вида друг относительно друга в объеме твердеющей композиции создаются условия для образования смешанных кластеров. Механизмы формирования структурных блоков на основе неоднородных по своему составу дисперсных частиц определяются величиной поверхностного натяжения исходных компонентов, скоростью их гидратации, размерами и расстоянием между ними. Условия взаимодействия и распределение разнородных мономинералов по дискретным агрегатам зависят от возникновения на поверхности первичных частиц продуктов новообразований. Клинкерные минералы отличаются степенью химической активности по отношению к воде, что обуславливает временное несоответствие образования гидратных продуктов на поверхности гидратирующихся частиц различного состава. В связи с этим, механизм организации кластеров в случае формирования структуры двухминеральной системы будет определяться скоростью возникновения элементов новой фазы на поверхности неоднородных минералов, их количеством и распределением по объему первичных компонентов, а также размерами и пространственным расположением последних в составе твердеющего материала. Если процессы межчастичных взаимодействий опережают появление гидратных веществ на поверхности исходных элементов, то контактирование минеральных частиц осуществляется, при прочих равных условиях, за счет притяжения мономинералов меньшей химической активности к минералам, характеризующимся более высокими значениями поверхностного натяжения. При этом величина поверхностной активности каждого отдельного вида мономинералов определяется их исходным минералогическим составом. Возникновение на поверхности минеральных компонентов дисперсной фазы продуктов гидратации и зародышей изменяет поверхностные свойства и размеры взаимодействующих клинкерных минералов, а следовательно и условия их контактирования. Появление гидратов снижает интенсивность протекания реакций гидратации исходных частиц. В первую очередь во взаимодействии с жидкой средой вступают минералы более активной химической природы. Если предположить, что к моменту непосредственного контакта неоднородных частиц вяжущей системы на поверхности одного из видов дисперсных компонентов произошли гидратационные процессы, то в этом случае в качестве "структурообразующих" центров будут выступать мономинералы меньшей химической активности по отношению к воде, что обусловлено их большим поверхностным натяжением. При взаимодействии

частиц различных по своей природе, дисперсности и находящихся на неравном расстоянии друг от друга, формирование дискретных блоков происходит независимо от минералогического состава исходных компонентов путем перемещения мономинералов меньшего размера к более крупным частицам или расположенным на меньшем межчастичном расстоянии. Таким образом, в период начальной организации структуры твердеющей двухкомпонентной системы возможно образование кластеров, в которых минеральные частицы одного вида будут размещены на поверхности мономинералов другого вида в силу их несоответствия по поверхностной активности, размерам и пространственному распределению в объеме формирующейся композиции (рис.2б). Вероятны также случаи организации структурных агрегатов за счет одновременного взаимодействия мономинералов как с себе подобными по химической природе дисперсными элементами, так и с частицами иного минералогического состава. Механизм кластерообразования будет зависеть от расстояния, на котором находятся исходные минералы, степени их гидратации, взаиморасположения друг относительно друга и размеров. "Структурообразующими" выступают минеральные компоненты любого вида, отличающиеся в данный момент более высокими значениями поверхностного натяжения или большим размером. При этом возможны варианты распределения рядовых частиц вокруг "структурообразующих" центров. Наиболее активные минералы, по химической природе или характеризующиеся малой дисперсностью, могут размещать на своей поверхности дисперсные элементы меньшей активности или меньшего размера с равномерным чередованием последних по их минералогическому составу (рис.2в). В этом случае образуются упорядоченные по химической природе составляющих компонентов структурные блоки. Вероятным является и произвольное расположение отдельных минеральных частиц различного вида на поверхности "структурообразующих" центров (рис.2г).

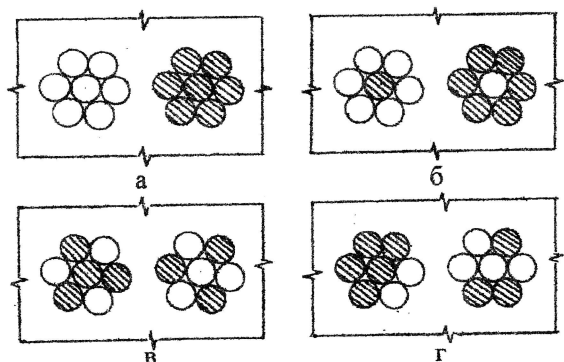


Рис. 2. Механизмы организации структуры двухкомпонентной системы

Формирующиеся кластеры будут отличаться неравномерным распределением в своем объеме разнородных по составу мономинералов. Это вызовет уменьшение взаимовлияния составных элементов в агрегатных структурах и нарушение упорядоченной организации последних. Рассмотренные механизмы кластерообразования показали, что формирование дискретных блоков в начальный период организации структуры двухминеральной вяжущей системы определяется особенностями качественного минералогического состава ее исходных компонентов, их размерами и межчастичным расстоянием. Подобные варианты механизмов образования структурных агрегатов характерны также и для трех-, четырех-, пяти- и более компонентных дисперсных систем.

Реальная цементная композиция состоит из большого числа частиц, различающихся между собой по химической природе, строению, поверхностным свойствам и размерам. Каждая цементная частица характеризуется индивидуальным содержанием отдельных мономинералов в своем составе. В силу этого можно предположить наличие в формирующейся вяжущей системе как мономинеральных, так и полиминеральных исходных компонентов различной дисперсности. Полиминеральные частицы представляют собой совокупности взаимосвязанных клинкерных минералов, отличающихся неоднородным сочетанием последних по их количественному соотношению и характеру распределения в объеме цементных зерен. Примем, что минералогический состав полиминеральных компонентов твердеющего материала соответствует среднему процентному содержанию основных мономинералов в клинкере портландцемента (C_3S -50%, C_2S -25%, C_3A -10%, C_4AF -15%). При этом равновероятно локальное и произвольное расположение клинкерных фаз в цементных частицах (рис.3).

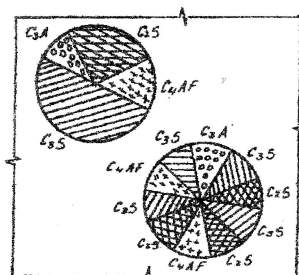


Рис. 3. Схема расположения клинкерных минералов в цементной частице

Присутствие в составе дисперсной фазы полиминеральных соединений приводит к усложнению механизмов организации структуры твердеющих систем. В этом случае формирование дискретных блоков осуществляется не только за счет перемещения рядовых частиц к своим "структурообразующим", но и в результате их ориентирования друг относительно друга участками поверхности адекватного химического состава. Можно выделить следующие

механизмы начального структурообразования цементной композиции (рис.4).

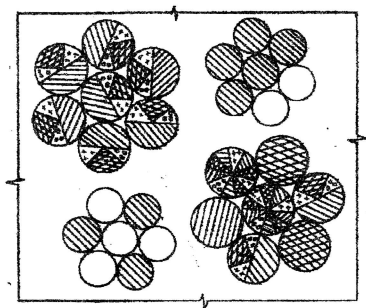


Рис. 4. Механизмы организации структуры полиминеральной системы

Мономинеральные и полиминеральные частицы вступают в контактные взаимодействия с себе подобными по минералогическим характеристикам соединениями. Мономинеральные зерна образуют химически однородные и смешанные кластерные структуры с равномерным или спонтанным расположением мономинеральных частиц различного вида на поверхности “структурообразующих” центров. Организация структурных блоков при этом определяется несоответствием исходных элементов по величине поверхностной активности, размерам и межчастичному расстоянию. Кластеры на основе полиминеральных компонентов характеризуются сложным качественным составом образующих их частиц. Интенсивность контактных сил взаимодействия между полиминеральными зернами зависит от дисперсности составных элементов формирующихся дискретных агрегатов, их минералогической природы и расстояния, на котором они находятся. Отличительной особенностью организации кластеров из полиминеральных соединений является пространственное ориентирование рядовых частиц соответствующими активными поверхностными зонами относительно друг друга и “структурообразующих” центров. Ориентация полиминеральных зерен обусловлена их стремлением контактировать участками поверхности одинакового химического состава. При формировании структуры цементной системы также вероятен механизм образования дискретных блоков в результате взаимодействия мономинеральных и полиминеральных компонентов вяжущего между собой. В этом случае образующиеся кластеры характеризуются смешанным расположением различных по качественным характеристикам исходных компонентов вокруг “структурообразующих” центров. В качестве последних могут выступать как мономинеральные, так и полиминеральные частицы меньшей дисперсности и меньшего межчастичного расстояния. При этом распределение дисперсных элементов на поверхности “структурообразующих” зависит от объемного соотношения клинкерных минералов в цементных зернах и ориентации неоднородных частиц друг относительно друга. В результате об-

разуются кластеры с равномерным или произвольным размещением рядовых элементов внутри дискретных блоков. Таким образом, организация структуры твердеющей цементной композиции определяется видом, количественным содержанием и расположением основных клинкерных фаз в объеме составляющих ее частиц, а также пространственным ориентированием последних в процессе формирования структурных агрегатов.

Проведенный анализ механизмов организации кластерных структур моно- и полиминеральных композиций позволяет заключить, что условия структурообразования дисперсных систем зависят от минералогического состава их исходных компонентов и определяются свойствами затвердевшего материала.

1. Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. и др. Современные методы оптимизации композиционных материалов. – К.: Будівельник, 1983. – 144 с. 2. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. – М.: Химия, 1982. – 400 с. 3. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Аббасханов Н.А. Бетон как композиционный материал. – Т.: УзНИИТИ, 1984. – 31 с. 4. Соломатов В.И., Выровой В.Н. Кластерообразование композиционных строительных материалов // Технологическая механика бетона / РПИ. – Рига, 1985. – С.5-21. 5. Ристич М.М. Основы науки о материалах. К.: Наук. думка, 1984. – 152 с.

УДК 666.973.6 : 666.974

Кривенко П.В., д.т.н., проф., Бродко О.А., к.т.н., с.н.с., Ковальчук Г.Ю., аси. (Державний науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського, м. Київ)

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЖАРОСТІЙКОГО ГАЗОБЕТОНУ НА ОСНОВІ ЛУЖНОГО АЛЮМОСИЛКАТНОГО ЗВ'ЯЗУЮЧОГО

Розроблено фізико-хімічні основи гідратаційно-дегідратаційного структуроутворення жаростійкого газобетону на основі ЛАЗ, що дає змогу отримувати енерго- та ресурсоефективний безвипалювальний матеріал для несучої теплоізоляції обладнання з температурою робочої поверхні до 1000°C.

У відповідності до нагальних потреб промисловості України щодо створення сучасних матеріалів для несучої теплоізоляції високотемпературного устаткування в Державному науково-дослідному інституті в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського (ДНДІВМ, м. Київ) було розроблено жаростійкий газобетон на основі лужного алюмосилкатного зв'язуючого (ЛАЗ) [1]. Використання ЛАЗ дозволяє отримати такий матеріал без застосування випалювання, що обумовлює невисоку вартість розробленого матеріалу у порівнянні з традиційними матеріалами такого класу – легкими вогнетривами, а