

## НАНОТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА УПРОЧНЕННОГО БЕТОНА С РАЗЛИЧНОЙ МАТРИЦЕЙ КОМПОЗИТА

Подлозный Э. Д., Гречихин Л.И.

**Введение.** Постановка арматуры в матрицу композиционного бетона приводит к увеличению прочности и жесткости строительных конструкций [1, 2]. Причины такого явления остаются не достаточно ясными.

В этой связи применительно к железобетону возникает цель: *выяснить структуру композитного железобетона и различные типы взаимодействий, которые его формируют, на наноуровне.* В соответствии с поставленной целью возникает необходимость в решении следующих задач:

- как образуются многоатомные молекулы карбоната кальция, двуокиси кремния, окиси алюминия, молекулы гепатита и магнетита, которые являются основой композитного железобетона;
- какие кластерные образования формируются многоатомными молекулами;
- выяснить механизм межкластерного взаимодействия в композитном железобетоне;
- определить основные требования к технологии изготовления железобетонных конструкций с максимальными характеристиками прочности и жесткости.

Общая схема образования многоатомных молекул, кластеров и межкластерного взаимодействия на наноуровне предложена в [1, 2]. При этом предполагается, что вначале образуются двухатомные молекулы, которые могут взаимодействовать друг с другом и с отдельными атомами. Образующиеся трехатомные молекулы взаимодействуют с отдельными атомами, с двухатомными и трехатомными молекулами. Многоатомные молекулы, взаимодействуя между собой, формируют кластерные образования. Кластерные образования, взаимодействуя между собой, создают матрицу композиционного бетона. В такой последовательности рассмотрены молекулы, кластеры и межкластерные взаимодействия для карбоната кальция, глинозема, кремнезема, гепатита и магнетита.

Молекула карбоната кальция получается вследствие взаимодействия молекул  $CaO$  и  $CO_2$ . При этом образуется вытянутая молекула с общим дипольным электрическим моментом  $1,645 \cdot 10^{-29}$  Кл·м. Обладая таким значительным электрическим дипольным моментом, молекулы карбоната кальция образуют кластер ионного типа, а межкластерное взаимодействие создает ионный кристалл. Аналогичная ситуация возникает в глиноземе, кремнеземе, гепатите и магнетите. С кластерами этих веществ взаимодействуют кластеры карбоната кальция, образуя композитный железобетон. Энергия взаимодействия между различными кластерами приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Межкластерное расстояние, размер межкластерных пустот и энергии связи кластера карбоната кальция с различными кластерами в железобетоне

Параметры	Наименование кластеров					
	$CaCO_3$	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$Fe_3O_4$	$Fe_3O_4$
$R, \text{ \AA}$	3,436...6,85	5,245	5,005	5,525	5,547	3,847
$d, \text{ \AA}$	1,423...2,84	2,172	2,073	2,288	2,298	2,298
$E_{\text{св}} CaCO_3$ , эВ	0,252/0,270	0,259	0,143	0,254	0,369	0,674
$E, \cdot 10^{-11} \text{ Па}$ $e = 0,005$ и $T=298 \text{ К}$	1,69/0,55	1,61	1,01	0,65	1,89	3,50

Кластер карбоната кальция при расчетной температуре 1098 К терпит разрыв связи молекул карбоната кальция в вертикальном направлении. Это приводит к распаду кластера, что экспериментально отмечено, как разложение карбоната кальция. Реально бетон, а тем более железобетон не разлагается при температуре 1098 К. Это обусловлено тем, что бетон формируется в виде композита, и межкластерное взаимодействие между различными компонентами усиливает энергию связи кластерных образований внутри бетона.

При замешивании бетона преимущественно используют песок кремнезема. В этом случае температурное разрушение бетона будет происходить на границе связи кластеров карбоната кальция с частицами песка. Температура расслоения кластеров карбоната кальция с частицами кремнезема в соответствии с их энергией связи (0,143 эВ) составляет ~ 1660 К.

Чтобы упрочнить бетон необходимо заполнить столбообразные пустоты глинозема, кремнезема, гематита и магнетита молекулами карбоната кальция. Отдельные молекулы карбоната кальция можно получить путем распада кластера. Для этого можно использовать подогрев. Но подогрев значительно усложняет технологию получения конструкционного бетона. Выход был найден в использовании водного раствора. Вода обладает большой диэлектрической проницаемостью и поэтому в воде кластеры карбоната кальция будут эффективно распадаться на отдельные атомы. В нормальных условиях кластеры карбоната кальция в водном растворе вообще не образуются.

При заполнении столбообразных пустот молекулами карбоната кальция важно чтобы энергия связи кластеров молекул воды с той или иной основой должна быть меньше чем связь молекул карбоната кальция с данной основой. В этом случае молекулы карбоната кальция будут вытеснять с поверхности основы кластеры воды.

Кластеры воды обладают радиусом ~ 3,42 Å и дипольным электрическим моментом  $5,37 \cdot 10^{-30}$  Кл·м. Связь кластера воды с молекулой карбоната кальция 0,073 эВ, а минимальная энергия связи между молекулами карбоната кальция 0,095 эВ. По мере выпаривания воды будут образовываться кластеры карбоната кальция и выталкивать воду на поверхность конструкционного бетона. Так происходит явление схватывания бетона. Взаимодействие кластеров воды с кластерами всех остальных веществ составляет не более нескольких тысячных долей эВ. Поэтому вода не является препятствием для проникновения молекул карбоната кальция в основу глинозема, кремнезема, гематита и магнетита. По мере осаждения молекул карбоната кальция на той или иной основе образуются кластеры, которые на основе будут располагаться с максимальной энергией связи.

Из табл. 1 видно, что наибольшая энергия связи реализуется при росте кластеров карбоната кальция на гематите и особенно на магнетите. Когда железные стержни используются для армирования бетона, то вода каталитически разлагается на водород и кислород, и поэтому на железе образуются в основном окислы магнетита.

При известной энергии связи, которая в основном определяется диполь-дипольным взаимодействием, определены модули Юнга для различных межкластерных взаимодействий. Модуль Юнга связан с энергией связи следующим образом:

$$E = \frac{U(r) - U(r_0)}{r_0 S_{\text{кл}} e^2}, \quad (1)$$

где  $U(r)$ ,  $U(r_0)$  – потенциалы взаимодействия на расстоянии  $r$  между взаимодействующими частицами и на равновесном удалении  $r_0$ ;  $S_{\text{кл}}$  – площадь кластера и  $e$

– относительная деформация. Используя данные табл. 3 по энергиям взаимодействия, были выполнены расчеты модулей Юнга. Результаты этих вычислений приведены в табл. 1. Для чистого бетона модуль Юнга зависит от направления приложенной нагрузки. Обычно чистый бетон невозможно выполнить в виде монокристалла. Поэтому для поликристаллического бетона модуль Юнга соответствует нижнему значению, приведенному в табл. 1, т.е.  $5,5 \cdot 10^{10}$  Па. Сравнить с экспериментальными данными можно чисто качественно. Так в [3] приводятся данные для высокопрочного бетона  $4,03 \cdot 10^{10}$  Па, а с фиброй  $4,16 \cdot 10^{10}$  Па. С данными эксперимента теоретический расчет совпадает достаточно убедительно.

Взаимодействие кластеров карбоната кальция с кластерами магнетита приводит к наиболее высокому значению модуля Юнга. Когда армирование бетона выполняется обычными железными стержнями, то кластеры магнетита своими электрическими диполями выстраиваются перпендикулярно поверхности стержня. Кластер карбоната кальция, взаимодействуя с такими кластерами, обладает сравнительно высокой энергией связи. Поэтому и модуль Юнга обладает сравнительно высоким значением. Однако это не предел.

Если произвести заметную пластическую деформацию, то у поверхности кластеры магнетита выстроятся вдоль поверхности. Толстые стержни для этого не пригодны. Следует использовать тонкую проволоку, которую можно деформировать с меньшими усилиями. При таком армировании железобетон должен обладать еще большим значением модуля Юнга. Процесс выстраивания кластеров карбоната кальция на поверхности железа при параллельном расположении электрических дипольных моментов кластеров магнетита показан на рис. 1.

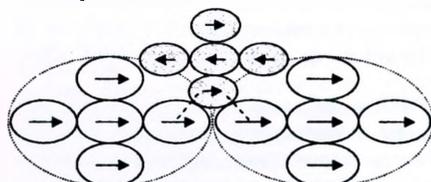


Рисунок 1 – Фрагмент расположения кластера карбоната кальция между кластерами магнетита

Кластер карбоната кальция в данном случае взаимодействует с двумя кластерами магнетита и заполняет межкластерную пустоту. В результате диполь-дипольного взаимодействия энергия кластера карбоната кальция с основой возрастает почти в два раза. Соответственно и модуль Юнга возрастает в 1,85 раза по сравнению с использованием железных стержней. Исходя из рассмотренной модели формирования композитного железобетона была разработана

технология получения различных конструкционных изделий (балки, плиты, перекрытия и др.).

**Технология изготовления железобетона с напряженно деформированной тонкой проволокой.** Основные требования, предъявляемые к технологии изготовления композитного железобетона с напряженно деформированной тонкой проволокой, следующие [4]:

1. При формировании арматуры натяжение проволоки производят с усилием, обеспечивающим ее работу в области перехода от упругой к пластической деформации, т.е. в области реализации «зуба текучести», когда возникает максимальное напряжение при сравнительно незначительной деформации.

2. Укладка и уплотнение песчанно-цементной смеси производится слоями с равномерным распределением, что позволяет обеспечивать схватывание бетона с образованием кристаллического монолита.

3. Напряженная проволока охватывает внутренние анкеры в трех ортогональных направлениях и закрепляется на них после охвата, а на последних анкерах своими концами.

4. Навивку проволоки производят двухслойно вначале на нижние анкера, а затем на верхние анкера, которые служат для исключения расслоения бетона в процессе укладки вследствие уменьшения энергии связи между кластерами при температурном изменении расположения электрических дипольных моментов в пространстве.

**Заключение.** Метод непрерывного армирования предварительно напряженных конструкций проверен в заводских условиях на различных типах железобетонных изделий. При этом было установлено значительное возрастание физико-механических свойств железобетона, т.е. имело место повышение жесткости и устойчивости напряженных конструкций. Разработанный метод армирования позволил сэкономить 50% металла по сравнению со стержневой арматурой.

#### Список цитированных источников

1. Анелло, М.А. Моделирование поведения работающих на растяжение бетонных элементов конструкций, армированных стержнями из волокнистого композита / М.А. Анелло, М. Леоне, Л. Омбрес // Механика композитных материалов. – 2003. – Т. 39, № 4. – С. 431–444.
2. Тенферс, Р. Сцепление арматуры из волокнистого композита в бетоне – актуальная проблема / Р. Тенферс, Л. де-Лоренцис // Механика композитных материалов. – 2003. № 4. – С. 477–496.
3. Пушенико, А.С. Высокопрочный бетон в условиях воздействия высоких температур при пожаре / Автореферат дис.: канд. тех. наук (05 23 05). – Ростов на Дону, 2008. – 23 с.
4. Подлозный, Э.Д. Перспективные методы непрерывного армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций в мостостроении / Э.Д. Подлозный // Будущее строительства. Construction. – 2000. – № 1. – С. 33–45.

УДК 666.961

## ВЫСОЛООБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ АСБЕСТОЦЕМЕНТНОГО ШИФЕРА

Кухта Т.Н.

**Введение.** В настоящее время к шиферу предъявляются требования по выполнению не только защитных функций на кровле, но и эстетические - по цвету и качеству поверхности.

При покрытии кровли окрашенными асбестоцементными листами на их поверхности часто появляются белые налеты – «выцветы». Образование данных налетов связано с выходом гидрата окиси кальция из толщи асбестоцементного листа на наружную поверхность. Процесс этот связан с периодическим увлажнением (во время дождя) и высыханием асбестоцементных листов. При увлажнении листа вода растворяет в его толще гидрат окиси кальция. При высыхании, которое протекает преимущественно по наружной, контактирующей с воздухом и подверженной действию солнечных лучей плоскости листа, вода испаряется, а растворенный в ней гидрат окиси кальция осаждается на поверхности [1].

Высолы, проявляющиеся на окрашенных асбестоцементных листах, не только портят декоративный вид изделия, но и значительно сокращают срок службы лакокрасочного покрытия.

**Химия процесса.** Следует отметить, что явление высокообразования присуще всем изделиям на основе гидравлических вяжущих. Природа этого явления обусловлена механизмом гидратации цемента и заключается в растворении и диффузии на поверхность изделия некоторых составляющих, в первую очередь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [2].