

УДК 666.972

ОСОБЕННОСТИ АКТИВАЦИОННЫХ СПОСОБОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

Канд. техн. наук Е.А. Беличенко, д-р техн. наук С.Н. Толмачев

ОСОБЛИВОСТІ АКТИВАЦІЙНИХ СПОСОБІВ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРНІ РІВНІ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ

Канд. техн. наук О.А. Беліченко, д-р техн. наук С.М. Толмачов

ESPECIALLY ACTIVATION WAYS TO INFLUENCE THE STRUCTURAL LEVELS OF THE CEMENT CONCRETE

PhD O. Belichenko, DSc S. Tolmachov

В статье рассмотрены активационные способы воздействий на уровни структуры цементных бетонов. Установлены объекты активации и показано, что все активационные воздействия влияют на процессы структурообразования бетонов. Показано, что направление комплексной активации как компонентов бетона, так и его различных структурных уровней является актуальным и требующим серьезного научного исследования.

Ключевые слова: активация, уровни структуры бетона, микронаполнители, структурообразование, цементное тесто, цементный бетон, критерии эффективности.

У статті розглянуті активаційні способи впливу на рівні структури цементних бетонів. Встановлено об'єкти активації та показано, що всі активаційні прийоми впливають на процеси структуроутворення бетонів. Показано, що напрямок комплексної активації як компонентів бетону, так і його різних структурних рівнів є актуальним і вимагає серйозного наукового дослідження.

Ключові слова: активація, рівні структури бетону, мікронаповнювачі, структуроутворення, цементне тісто, цементний бетон, критерії ефективності.

The article discusses ways of influencing the activation levels of the structure of cement concrete. Isolated and grouped different types of influences. Lens is activated and it is shown that all the activation effects affect the processes of the structure of concrete. Separately allocated a block activation using micro- and nanoparticles. It is shown that to date there is no comprehensive mechanism for this type of activation. The use of mineral additives helps to seal these levels by reducing the structure porosity. It is found that the fillers are nanoscale crystallization centers and accelerate crystallization processes, especially in the initial phase of hardening. It is shown that the application of several types of activation leads to the deterioration of concrete performance compared to a single activation effect. The principle of conformity, according to which to obtain concrete with desired properties (or high rates) must be observed correspondence between the characteristics of raw materials and their processing methods, ie activation. This principle provides the application specific effects for a particular component (s) at the right time and in the required amount. It is shown that the direction of a comprehensive activation of both components of the concrete and its different structural levels is urgent and requires serious research.

Keywords: activation, levels of the concrete structure, microfiller, structure, cement paste, cement concrete, performance criteria.

Введение. Прочность и долговечность особенностями их структуры. Для строительных материалов определяется обеспечения их высоких значений

необходимо научиться управлять процессами возникновения и развития структуры. Бетон представляет собой полиструктурную систему, поэтому в ней исследователи выделяют несколько структурных уровней [1, 2]. Последовательность структур представлена следующим образом: субмикроструктура (истинный или коллоидный водный раствор растворимых или нерастворимых веществ) входит составной частью в микроструктуру; микроструктура (цементное тесто в незатвердевшем или затвердевшем состоянии) входит в состав мезоструктуры; мезоструктура (цементно-песчаная растворная смесь или цементно-песчаный раствор) является составляющей макроструктуры бетона; макроструктура (крупный заполнитель совместно с цементно-песчаной частью), объединяющая все предыдущие уровни.

Все уровни структуры бетона взаимозависимы между собой, т.е. имеет место подчиненность более грубых и менее однородных структурных уровней, более дисперсным и упорядоченным. Свойства микроструктуры определяют свойства мезоструктуры, а свойства мезоструктуры определяют свойства макроструктуры. Можно сказать, что совершенство более дисперсного уровня предопределяет качество структуры более грубой. Такое деление структуры бетона на уровни вызвано в первую очередь тем, что каждый из них удобно рассматривать как единое целое, с присущей ему определенной степенью однородности. Это позволяет, предложив ту или иную физико-химическую или физико-механическую модель поведения определенного уровня структуры, применить законы физико-химической механики и механики разрушения и описать состояние бетона в данный момент времени и прогнозировать его поведение в период эксплуатации.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Однако, даже в случае идеального подбора материалов, бетон имеет высокую степень неоднородности, которая возрастает с

переходом от низшего уровня структуры к высшему. Минимальная неоднородность присуща субмикроструктуре, максимальная – макроструктуре. Повышение однородности всех уровней структуры является одной из задач бетоноведения, решение которой позволит улучшить эксплуатационные свойства бетона. Наиболее простое решение этой задачи возможно за счет последовательного повышения однородности конкретно каждого структурного уровня индивидуально. Например, для субмикро- и микроуровня наиболее подходящим является физико-химическая активация. Для уровней более грубых – мезо- и макроуровня наряду с физико-химической эффективным является структурная активация (улучшение гранулометрии, повышение качества вяжущих и заполнителей и др.), а также физико-механическая активация. В каждом конкретном случае для достижения максимального результата следует выбирать определенные виды активации.

Анализ многочисленных исследований позволяет сгруппировать различные виды воздействий. Активация может быть осуществлена химическим, физическим, физико-химическим, механическим способами. Объекты активации изображены на рис. 1. Следует отметить, что все воздействия оказывают влияние на характер структурообразования бетонов.

Отдельно можно выделить структурную активацию с помощью тонкоизмельченных микро- и нанонаполнителей. В первую очередь, она затрагивает микро- и мезоуровень. На сегодня отсутствует полный механизм этого вида активации. Известно, что применение минеральных добавок способствует уплотнению этих уровней структуры за счет снижения пористости [3, 4].

Новизна работы. По нашим данным наполнители наноуровня, являясь центрами кристаллизации, способствуют ускорению процессов кристаллизации, особенно на начальном этапе твердения, что подтверждают данные о высокой ранней прочности бетонов с наномодификаторами [5].



Рис. 1 Объекты активации

Эффективность каждого отдельного разработанного метода воздействия доказана многочисленными исследованиями и подтверждена на практике. Логично было бы предположить, что применение нескольких видов активации приведет к адекватному улучшению качества структуры бетона. Однако, вся проблема заключается в том, что исследователи применяют несколько методов без строгого научного обоснования необходимости их применения. Иными словами, критериальность при выборе комплекса методов воздействия отсутствует. Более того, отсутствует обоснование времени приложения воздействий (например, последовательность или параллельность приложения), их продолжительности. Исследователи практически не учитывают основные особенности заполнителей, температурно-влажностные режимы твердения и другие условия. Это приводит к тому, что

результаты исследований различных ученых не совпадают, более того, они могут противоречить друг другу.

Часто получаемые данные о приложении комплекса методов активации свидетельствуют о том, что из нескольких видов воздействий эффективен только один и улучшение показателей бетона обусловлено только этим видом активации. В некоторых случаях, приложение нескольких видов активации приводит к ухудшению показателей бетона по сравнению с одним активационным воздействием. Причем это может проявиться не сразу, а с течением времени. Например: в дорожных монолитных бетонах применение микроструктурной активации (введение микронаполнителей) и физико-химической активации (введение комплекса суперпластификатор + воздухововлекающая добавка) приведет к резкому уменьшению количества вовлеченного воздуха и

снижению пластифицирующего эффекта, а значит ухудшению качества бетона. Причиной в этом случае является традиционный подход к введению всех добавок – одновременно.

Удачным решением, позволяющим исключить хаотическое приложение активационных воздействий, явился предложенный О.П. Мчедловым-Петросяном «принцип соответствия» или «принцип когерентности» [6]. Согласно этому принципу для получения бетона с заданными свойствами (или высокими показателями) должно быть соблюдено соответствие между характеристиками исходных материалов и методами их обработки, т.е. активации. Это принцип, который предусматривает приложение определенного воздействия для определенного компонента (компонентов) в нужное время и в необходимом объеме. В основе принципа лежат фундаментальные законы физико-химической механики, физической химии и ее раздела коллоидной химии. Практическим приложением является, например, принцип оптимальной дисперсности, позволяющий уменьшить гранулометрическую неоднородность материала на различных уровнях структуры. Теория образования и развития дисперсных структур хорошо освещена в работах П.А. Ребиндера и его учеников [7]. В первую очередь это относится к цементному тесту и далее микроструктуре цементного бетона, т.е. твердеющему или затвердевшему цементному камню. О.П. Мчедлов-Петросян показал также основные факторы, влияющие на качество получаемого бетона: качество исходных компонентов, условия изготовления бетонной смеси, изготовления и эксплуатации бетонных изделий.

Анализ исследований и публикаций.

Развитие этих положений применительно к цементному бетону нашло отражение в исследованиях И.Н. Ахвердова, В.И. Бабушкина, Ю.М. Баженова, В.Г. Батракова, И.М. Грушко, Л.И. Дворкина, В.М. Москвина, А.Н. Плугина, И.А. Рыбьева, В.И. Соломатова, А.Е. Шейкина, Л.Г. Шпыновой, А.В. Ущерова-Маршака и их последователей. Однако, в этих работах в

основном были рассмотрены отдельные виды активационных воздействий, касающиеся в первую очередь мезо- и макроструктуры бетона. Теория направленного структурообразования на уровне микроструктуры и частично субмикроструктуры получила развитие в работах школы А.Н. Плугина [8]. В них, в частности, отмечено, что характер формируемой микроструктуры бетона определяет его свойства.

Рассмотрим некоторые виды активационных воздействий. Одним из распространенных физических способов активационного воздействия на воду (водный раствор добавок) затворения является обработка магнитным полем [9, 10]. По данным В.И. Классена [9] кратковременные воздействия электромагнитного поля на гетерогенные водные системы приводят к изменению скорости протекания химических реакций за счет изменения кинетики растворения минералов клинкера. Им же отмечено влияние магнитного поля на процессы смачивания, коагуляции и кристаллизации [9]. Как отмечал А.И. Зятков, обработка воды магнитным полем приводит к изменению поверхностного натяжения и характера адсорбции добавок [10]. Однако, известно, что такое воздействие нестабильно, продолжительность эффекта очень мала, какие-либо критерии оценки эффективности, кроме конечных показателей бетона (в основном, прочности) отсутствуют.

Исследования, проведенные под руководством И.М. Грушко [11, 12] показали, что механоактивация цементно-водной суспензии в роторно-пульсационном аппарате (РПА) приводит к увеличению прочности бетонных изделий. Это можно объяснить тем, что при таком способе активации в водную среду попадает большое количество искусственных зародышей кристаллизации, образующихся при кавитационном разрушении любых микрочастиц (в том числе цемента и др.) в РПА. Это позволяет ускорить процессы структурообразования за счет ускорения кристаллизации. Рассмотренная физико-

механическая активация компонента микроструктуры обеспечивала достаточно стабильный эффект для цементных и зольных суспензий, однако, величина его была различной, а продолжительность воздействия не была определена.

Основная часть исследований.

Применение химических добавок, которые вводят в бетонную смесь через жидкую фазу, относится к физико-химической активации, действие которой направлено на изменение свойств субмикро- и микроструктуры. Ее эффективность во многом определяется составом и строением добавок, а также видом вяжущего. По своим свойствам химические добавки не всегда являются модификаторами воды затворения, изменяющими ее свойства. В первую очередь добавки изменяют поверхностные свойства исходных минералов и новообразований цемента, а жидкая фаза служит передаточным звеном для получения желаемого эффекта. Это наиболее изученный и часто применяемый способ активации. Но и в данном случае, необходимы критерии, позволяющие определить временные интервалы и продолжительность других видов воздействия.

На протяжении нескольких десятилетий в технологии тяжелых бетонов в качестве модификаторов микро- и мезоструктуры бетонов применяют тонкоизмельченные микронаполнители. Этот вид структурной активации направлен на изменение характеристик микро- и мезоструктуры. Имеется большой практический опыт применения в качестве дисперсных минеральных наполнителей (микронаполнителей) золы-уноса, шлаков, микрокремнезема и др. Л.И. Дворкин с соавторами показали [13], что высокодисперсные активные минеральные наполнители в цементных системах влияют на структурообразование и свойства бетонов.

В.И. Соломатов и А.Н. Бобрышев показали, что прочность дисперсно-наполненных композитов зависит от степени наполнения [14]. Она имеет волнообразный характер с максимумами и минимумами.

Снижение прочности при введении микронаполнителей авторы объясняют тем, что отдельные, не связанные между собой частицы наполнителя, при определенных количествах не способны эффективно упрочнять композит. Такие частицы служат концентраторами напряжений и инициаторами внутреннего трещинообразования. Их введение может как упрочнить структуру, так и нарушить ее упорядоченность, повышая дефектность. В этом случае мы сталкиваемся с примером отрицательного влияния микроструктурной активации бетона, которая может быть устранена применением другого способа воздействия, возможно, на другой уровень структуры бетона.

А.Г. Ольгинский показал [15], что микронаполнитель не является инертным, а выступает в роли активного адсорбента и способствует повышению степени гидратации вяжущего с одной стороны, а с другой обеспечивает более полную закристаллизованность гидратов. Им же показана эффективность физико-химической активации различных по минеральному составу крупных и мелких заполнителей растворами щелочей и кислот. К сожалению, в последнем случае эффект такой активации нивелировался при введении в состав растворной или бетонной смеси суперпластификаторов. В этом случае мы сталкиваемся со случаем, когда один вид активации «мешает» проявлению другого.

По мнению А.Ю. Полака [16] в объеме цементного камня могут возникать растягивающие напряжения, если параметры наполнения выходят за границы оптимума. Для того, чтобы снять растягивающие напряжения Л.И. Дворкин с соавторами [13] предлагает использовать полифракционный микронаполнитель, содержащий зерна различной крупности, размер которых может находиться в диапазоне от нескольких микрон до десятых долей миллиметра. Такая полифракционность, по их мнению, может позволить создавать в твердеющей системе контакты, обусловленные силами электростатического притяжения между частицами различной крупности.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Исходя из вышеизложенного можно сказать, что направление комплексной активации как компонентов бетона, так и его различных структурных уровней является весьма актуальным и требующим серьезного научного исследования. В Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете на кафедре технологии дорожно-строительных материалов в течение многих лет проводят исследования как по применению различных видов активации в бетонных смесях и бетонах, так и по обобщению многолетнего опыта работы других исследователей в этой области. В качестве основных задач мы определяем:

- необходимость выделения нескольких (двух-трех) контролируемых параметров активации цементного камня, раствора и бетона;

- определение критериев эффективности (не более трех-четырёх, основных) для каждого принятого вида активации;

- изучение особенностей приложения конкретного вида активации, исходя из показателей качества применяемых заполнителей и вяжущего, технологии изготовления смесей и условий твердения.

Такой подход, по нашему мнению, позволит усовершенствовать научные основы применения различных видов активации в технологии цементных бетонов.

Список использованных источников

1. Грушко И.М. Структура и прочность дорожного цементного бетона [Текст] / Грушко И.М., Глущенко Н.Ф., Ильин А.Г. - Харьков: Харьковский государственный университет, 1965. - 135с.
2. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона [Текст] / В.И. Бабушкин. - М.: Стройиздат, 1968. - 187с.
3. Кузнецова Т.В. Физическая химия вяжущих материалов [Текст] / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.: ил.
4. Теория цемента [Текст] / Под ред. А.А. Пашенко. – К.: Будівельник, 1991. – 168 с.: ил.
5. Толмачев С.Н. Применение углеродных коллоидных наночастиц в мелкозернистых цементных бетонах [Монография] [Текст] / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 152 с.
6. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов [Текст] / О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. – 224 с.
7. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Стройиздат, 1966. – 400 с.
8. Плугин А.Н. Коллоидно-химические основы прочности, разрушения и долговечности бетона и железобетонных конструкций [Текст] / Плугин А.Н., Плугин А.А., Калинин О.А. // *Цемент*. - 1997. - № 2. - С. 28 – 32.
9. Классен В.И. Омагничивание водных систем [Текст] / В.И. Классен. – М.: Химия. – 1982. – 296 с.
10. Зятьков А.И. Физическая адсорбция магнитообработанной воды [Текст] / А.И. Зятьков // *ЖПХ*. – 1975. – Т. 48. - № 11. – С. 2430 – 2433.
11. Грушко И.М. Влияние обработки цементных суспензий на ускоренное твердение бетонов [Текст] / И.М. Грушко, В.А. Бирюков, И.И. Селиванов, И.Ф. Киселев // *Бетон и железобетон*. – 1981. - № 3. – С. 38 – 40.
12. Солдатенко С.Е. Механохимическая активация малоцентрированных цементно-водных суспензий для интенсификации твердения бетона при тепловой обработке: дисс. кандидата техн. наук: 05.23.05 / Солдатенко Сергей Евгеньевич. – Х., 1990. – 288 с.
13. Цементные бетоны с минеральными наполнителями [Текст] / [Дворкин Л.Й., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М.]. – К.: Будівельник, 1991. – 136 с.

14. Соломатов В.И. Эффекты сингулярности в изменении прочности наполненных композитов [Текст] / В.И. Соломатов, А.Н. Бобрышев // *Известия вузов, Серия: Строительство и архитектура*. – 1990. – № 10. – С. 53 – 56.

15. Ольгинский А.Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минералами заполнителя: дисс. д-ра техн. наук: 05.23.05 / Ольгинский Александр Георгиевич. – Х., 1994. – 380 с.

16. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ: Вопросы теории [Текст] / А.Ф. Полак. – М.: Стройиздат, 1966. – 208 с.

Беличенко Елена Анатольевна канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Тел.: (057) 707-37-42. E-mail: Belichenko_khadi@mail.ru

Толмачев Сергей Николаевич д-р техн. наук, профессор кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Тел.: (057) 707-37-42. E-mail: Tolmach_serg@mail.ru

Belichenko Olena Anatoliivna candidate of technical Sciences, researcher department of production engineering of road building materials Kharkov national automobile und highway university. Tel.: (057) 707-37-42. E-mail: Belichenko_khadi@mail.ru

Tolmachov Sergii Mikolajovich Doctor of Technical Sciences, Professor department of production engineering of road building materials Kharkov national automobile und highway university. Tel.: (057) 707-37-42. E-mail: Tolmach_serg@mail.ru

Стаття прийнята 27.05.2015 р