

УДК 502.51:537.8:666.9

**Ю. М. Баженов, В. Т. Фомичев, В. Т. Ерофеев, С. В. Федосов, А. А. Матвиевский,
А. К. Осипов, Д. В. Емельянов, Е. А. Митина, П. В. Юдин**

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ- И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОАКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ

Раскрыта проблема применения электрохимической и электромагнитной активации природной воды в технологии получения бетонных смесей и бетонов на ее основе. Приведено теоретическое обоснование и практическое подтверждение получения растворов с заданными физико-химическими свойствами. Изложены рекомендации по получению эффективных растворов бетонов.

К л ю ч е в ы е с л о в а : бетон, природная вода, электрохимическая активация, электромагнитная активация, центр кристаллизации.

The problem of application of electrochemical and electromagnetic activation of natural water in technology of getting concrete mixes and concrete on its basis is considered. The theoretical and practical justification of getting solutions with the set physical and chemical properties is given. Recommendations concerning reception of effective concrete solutions are stated.

K e y w o r d s : concrete, natural water, electrochemical activation, electromagnetic activation, crystallization center.

В современных условиях, несмотря на разработку новых строительных материалов и изделий на полимерных и других связующих, одним из самых динамичных рынков строительных материалов является рынок потребления бетонов на основе цементного вяжущего. Совершенствование технологий в строительстве, необходимость обеспечения долговечности и надежности работы конструкций и сооружений предъявляют все более высокие требования к качеству применяемых при их возведении бетонов. В этой связи разработка эффективных композитов на цементных связующих, обеспечивающих улучшение эксплуатационных показателей и снижение материалоемкости, является важной задачей в области строительного материаловедения.

В настоящее время существует широкий спектр технологических приемов, позволяющих целенаправленно регулировать структуру, а следовательно, и свойства цементных композитов, одним из которых является использование воды, применяемой для затворения, подвергнутой последовательной обработке электромагнитным и электрическим полями [1, 2]. Управляемое регулирование физико-химических свойств воды во многом определяет процессы формирования структуры цементного камня и открывает большие перспективы для создания новых энергоэффективных строительных материалов на основе цементного вяжущего [3].

Основные процессы твердения вяжущего, приготовленного на электрообработанной воде, связаны с электродными (во время обработки воды) и электрокинетическими (во время твердения смеси) процессами. Вяжущая система (цемент + вода) рассматривается как дисперсная, характер которой меняется во времени. Структурообразование системы, связанное с коагуляцией дисперсной фазы, приводит к потере агрегативной устойчивости системы. Свободнодисперсная система переходит в связнодисперсную с конденсационно-кристаллизационной структурой, которая образуется за счет коагуляции

частиц и непосредственного химического взаимодействия между ними с образованием жесткой объемной структуры.

Различают природную и пресную воду. Природная вода представляет растворы неорганических соединений. Пресная вода содержит в основном катионы кальция, магния, железа, в качестве анионов выступают карбонаты, фосфаты. Наличие ионов натрия и хлора выводит воду из разряда пресной воды. В производстве бетонных смесей используется, как правило, вода с различной степенью жесткости, определяемой суммой концентраций ионов кальция, магния, сопряженных с карбонат- и сульфат-ионами. Катионы кальция и магния мигрируют в направлении катода — отрицательно заряженного электрода. Т. к. на катоде при этом происходят процессы, в результате которых в прикатодном пространстве накапливаются ионы гидроксида, возможно протекание взаимодействия ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} с ионами OH^- с образованием гидроксидов магния и кальция с выделением образующейся твердой фазы в дисперсной форме наноразмерных объемов (без добавок поверхностно-активных веществ, молекулы которых, сорбируясь на поверхности частиц дисперсной фазы, резко понижают их поверхностную энергию). В результате консервируются наноразмеры образующихся продуктов электрохимического взаимодействия. Применение такой электроактивированной воды в процессах затворения позволяет использовать полученные частицы в качестве своеобразных центров кристаллизации через образование гелевых структур с гидратированными компонентами цементов. При отсутствии стабилизирующих факторов может наблюдаться кинетическая устойчивость дисперсных частиц нерастворимых соединений металла, преимущественно гидроксидов и основных солей, возникающих в электролите за счет изменения pH в ходе электрохимических процессов, протекающих на электродах [4].

В ходе анодного растворения железного электрода генерируются ионы железа (II), которые активируются, в результате процессов гидролиза и окисления, образуют устойчивые окисно-гидроокисные соединения железа, обладающие ферромагнитными свойствами. Под действием внешнего магнитного поля они способны образовывать дисперсные системы с высокой удельной поверхностью. Избыток поверхностной энергии способствует формированию мицеллярных структур и, в случае процесса затворения, образованию центров кристаллизации, обеспечивающих характеристики механических свойств получаемого камня.

С целью проверки данной гипотезы проведены исследования получаемых электроактивацией порций природной воды. В качестве методики исследования использовались оптические методы анализа дисперсных систем [5].

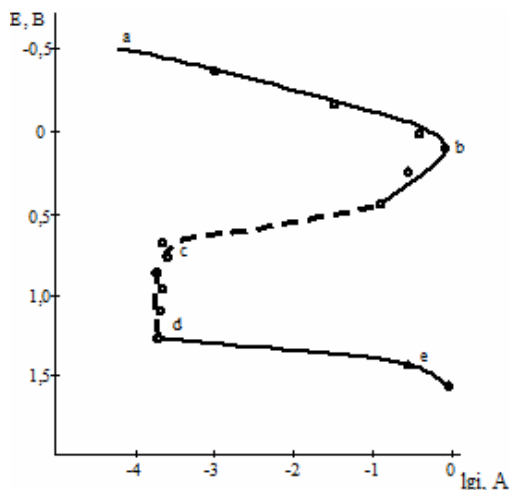
В течение 10 мин под действием плотности тока 1 А/дм^2 производился электролиз воды с 5%-м раствором сульфата натрия (для повышения электропроводности воды). Затем порции воды подвергались спектрофотометрированию для определения оптической плотности раствора при длинах волн 560 и 620 нм. Для определения средних размеров образующихся золь-частиц пользовались эмпирическими соотношениями, предложенными Геллером.

В свежих порциях регистрировались частицы диаметром 30...45 нм. Отстаивание электроактивированной воды приводит к укрупнению частиц. По истечении суток размеры частиц достигают размеров 1200...1600 нм.

Совместное действие электрического и магнитного поля различной интенсивности позволяет активно влиять на структуру образующихся дисперсных

частиц и их активность, что позволяет ожидать активного воздействия электроактивированной воды на процессы, обеспечивающие качественные характеристики получаемых бетонных изделий.

Для целесообразного использования ресурсов (в частности электроэнергии), затрачиваемых на проведение электрохимических реакций, зачастую приходится апеллировать к графику зависимости плотности тока электрода от его потенциала. В связи с этим положением были проведены эксперименты, на основании которых построена кривая зависимости (см. рис.).



Зависимость тока железного электрода от потенциала электрода

На рисунке кривую можно разбить на несколько характерных участков, из которых можно сделать выводы о том, что при переходе из отрицательного значения потенциала электрода к положительному нарастает ток ионов, переходящих в прианодное пространство, т. е. возрастает концентрация ионов (участок *ab*), приводящая к снижению скорости растворения (участок *bs*), достигая в пассивном состоянии некоторого минимума на участке *cd*. Дальнейшее увеличение положительного значения потенциала приводит снова к росту скорости процесса (участок *de*). Пассивное состояние обусловлено образованием очень тонкой пленки окисла, представляющей собой отдельную фазу хемисорбированного кислорода, а может быть и других частиц, тормозящих анодный процесс [6]. Этот процесс происходит при потенциалах, достигающих процесса окисления гидроксидов и выделения кислорода:



Вместе с этим возможно образование кислородных образований на поверхности металла, в частности железа:



Из этого следует, что потенциал пассивации E_m , отвечающий равносному состоянию обеих реакций, должен зависеть от величины pH раствора. Считая, что активность металла равна активности оксида и активности воды, а вместе они равны единице, получим:

$$E_n = E_0 - RT/2F \ln a_{\text{OH}^-}^2. \quad (3)$$

Выразим a_{OH^-} через $K_{\text{H}_2\text{O}}$ и H^+ . Тогда при 25 °С:

$$E_n = \text{const} - 0,059 \text{ pH}. \quad (4)$$

Отсюда следует, что повышение pH должно сдвигать E_n в сторону более отрицательных значений, т. е. облегчить переход металла в пассивное состояние. Если используется источник тока с малой стабилизацией амплитуды тока, то это может служить возникновению колебаний тока, в результате чего нарушается устойчивость пассивной пленки и ускоряются процессы, ведущие к выходу металла в форме ионов в рабочий раствор [7].

При электромагнитной обработке природной воды, наряду с влиянием на молекулярные структурные характеристики воды, значительное влияние на изменение ее свойств оказывают электрохимические процессы, протекающие на электродах: аноде, находящемся под положительным потенциалом, на котором происходят реакции окисления как самого металла электрода, так и ионов, имеющих отрицательные значения потенциалов, и катоде — электроде, находящемся под отрицательным потенциалом и на котором протекают реакции восстановления ионов, имеющих положительный потенциал. При обработке воды затворения электрическим полем растворимых электродов основным фактором, влияющим на дисперсии в области слабых напряженностей электрического поля, являются электрохимические процессы растворения электродов и образования гидроксида металла [8]. Гидроксиды алюминия или железа, образовавшиеся в результате растворения электродов при наложении электрического поля, многовалентного и обладающего перманентным дипольным моментом с повышенным содержанием ионов H^+ и OH^- , влияют на формирование кристаллогидратной решетки твердого тела. За счет введения в раствор многовалентных ионов алюминия или железа, обладающих перманентным дипольным моментом, появляется возможность оказывать влияние на период индукции и тем самым способствовать возникновению центров кристаллизации. Кроме этого, скорость растворения минералов вяжущего увеличивается за счет «обновления» растворителя, в котором полимеризующиеся цепочки гидроксида металла находятся в движении и способствуют перераспределению ионов, за счет чего и увеличивают продолжительность процесса растворения вяжущего [9, 10]. Получающиеся при этом соединения, находящиеся в ультрадисперсной фазе (наноразмеры от 1 до 100 нм), определяют активность воды, используемой в процессах затворения строительных растворов. Дисперсная фаза оксидов и гидрооксидов железа (анодные продукты) и гидрооксидов кальция и магния за счет катодного восстановления молекул воды образуют временно устойчивую систему центров кристаллизации в ходе процессов перехода растворов цемента в фазу образования гелиевых структур и образования твердой фазы с более мелкокристаллической структурой.

Регулирование параметров электрообработки (напряженность поля, плотность тока, продолжительность обработки) дает возможность управлять твердением и физико-механическими свойствами вяжущих материалов.

Необходимым условием обеспечения эффективности процесса электрообработки воды является точное соблюдение оптимальных параметров: напряженности электрического поля, плотности тока и продолжительности обработки воды.

Оптимальные параметры режима электрообработки и достигаемая эффективность обработки воды затворения электрическим полем растворимых электродов зависят от свойств используемых материалов, физико-химических характеристик исходной воды, температуры среды и времени выдерживания обработанной воды затворения до введения ее в бетонную смесь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Класен В. И.* Омагничивание водных систем М. : Химия, 1982. 296 с.
2. *Бахар В. М.* Электрохимическая активация М. : ВНИИИМТ, 1992. 627 с.
3. *Улазовский В. А., Ананьина С. А.* Влияние омагниченной воды затворения на процессы кристаллизационного твердения цементного камня. Волгоград : Волгоградский институт инженеров городского хозяйства, 1970. 114 с.
4. *Фридрихсберг Д. А.* Курс коллоидной химии. Л. : Химия, 1984. 368 с.
5. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / под ред. Ю. Г. Фролова и А. С. Гродского. М. : Химия, 1986. 216 с.
6. *Скорчелетти В. В.* Теоретическая электрохимия. М. : Химия, 1969. 579 с.
7. *Непримеров Н. Н., Ахмеров У. Ш., Бильдюкевич А. Л.* К вопросу о механизме действия магнитных полей на водную систему // Магнитная обработка воды в процессах обогащения полезных ископаемых. М., 1966.
8. *Ахназарова Л. С., Кафаров В. В.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. М. : Высш. шк., 1985. 327 с.
9. Структурообразование цементных композитов на активированной воде / В. Т. Ерофеев, Е. А. Митина, А. А. Матвиевский [и др.] // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов : материалы Всерос. науч.-техн. конф. Пенза, 2007. С. 71—73.
10. *Хаяутин Ю. Г., Совалов И. Г.* Методы активации цементов и влияние активации на свойства бетонов. М. : Стройиздат, 1963. 173 с.
1. *Klassen V. I.* Omagnichivanie vodnykh sistem M. : Khimiya, 1982. 296 s.
2. *Bakhar V. M.* Elektrokhimicheskaya aktivatsiya. M. : VNIIMT, 1992. 627 s.
3. *Ulazovskiy V. A., Ananina S. A.* Vliyaniye omagnichennoy vody zatvoreniya na protsessy kristallizatsionnogo tverdeniya tsementnogo kamnya. Volgograd : Volgogradskiy institut inzhenerov gorodskogo khozyaystva, 1970. 114 s.
4. *Fridrikhsberg D. A.* Kurs kolloidnoy khimii. L. : Khimiya, 1984. 368 s.
5. *Laboratnyye raboty i zadachi po kolloidnoy khimii / pod red. Yu. G. Frolova i A. S. Grodskogo.* M. : Khimiya, 1986. 216 s.
6. *Skorcheletti V. V.* Teoreticheskaya elektrokhiimiya. M. : Khimiya, 1969. 579 s.
7. *Nepriimerov N. N., Akhmerov U. Sh., Bilydukevich A. L.* K voprosu o mekhanizme deystviya magnitnykh poley na vodnuyu sistemu // Magnitnaya obrabotka vody v protsessakh obogashcheniya poleznykh iskopaemykh. M., 1966.
8. *Akhazarova L. S., Kafarov V. V.* Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoy tekhnologii. M. : Vyssh. shk., 1985. 327 s.
9. *Strukturoobrazovanie tsementnykh kompozitov na aktivirovannoy vode / V. T. Erofeev, E. A. Mitina, A. A. Matvievskiy [i dr.]* // Novye energo- i resursosberegayushchie naukoemkie tekhnologii v proizvodstve stroitelnykh materialov : materialy Vseros. nauch.-tekhn. konf. Penza, 2007. S. 71—73.
10. *Khayutin Yu. G., Sovolov I. G.* Metody aktivatsii tsementov i vliyanie aktivatsii na svoystva betonov. M. : Stroyizdat, 1963. 173 s.

© Баженов Ю. М., Фомичев В. Т., Ерофеев В. Т.,
Федосов С. В., Матвиевский А. А., Осипов А. К.,
Емельянов Д. В., Митина Е. А., Юдин П. В., 2012

Поступила в редакцию
в июне 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Теоретическое обоснование получения бетонов на основе электрохимически- и электромагнитноактивированной воды затворения / Ю. М. Баженов, В. Т. Фомичев, В. Т. Ерофеев, С. В. Федосов, А. А. Матвиевский, А. К. Осипов, Д. В. Емельянов, Е. А. Митина, П. В. Юдин // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 2 (22).