

УДК 961.327

ОТВЕРДЕВАНИЕ И РОСТ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА: ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВЕРСИЯ

А.А. КУЧЕРЕНКО, доктор техн. наук, профессор, кафедра «Процессы и аппараты в технологии строительных материалов», Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса, Украина

Ключевые слова: твердение, прочность, бетон, электромагнитное поле, атом, синтез, электрический заряд, ион, портландцемент
Keywords: hardening, strength, concrete, electromagnetic field, atom, synthesis, electrical charge, ion, Portland cement

В статье отмечается, что бетон – это искусственный камень из химически связанных друг с другом атомов или ионов. Каждый из них характеризуется своим электрическим зарядом. Заряд порождает электромагнитное поле. По поведению частиц в среде магнитных полей зарядов оцениваем результаты опытов. Автор подчеркивает, что чем выше величина заряда, тем обширнее магнитное поле, больше в нем радиус возбуждения соседних зарядов, больше атомов взаимодействуют друг с другом и выше скорость синтеза их.

Успехи в области современного материаловедения столь значительны, что появилась необходимость в изучении природы сил, связывающих отдельные атомы друг с другом и создающих строительный материал. В нем атомы удерживаются на определенном расстоянии друг от друга. Законы взаимодействия и механизм их стабильной связи можно объяснить, если знать свойства всегда существующих в них электрических зарядов. На наноровне работать с электрическими зарядами и изучать факторы, влияющие на их свойства, практически невозможно. Но одно из основных свойств заряда – создавать вокруг себя электромагнитное поле (ЭМП) – мы принимаем за основу. Тем более что ЭМП вокруг заряда возникает в любой окружающей среде: твердой, жидкой, газообразной и в вакууме. С магнитным полем работать проще, тем более что свойства электрического заряда определяют свойства ЭМП. Электрическое поле первично, магнитное поле – вторично.

Известно, что магнит – это металл, внутри которого вмонтированы незатухающие молекулярные круговые токи, т.е. движущиеся электрические заряды. Последние создают магнитное поле, воздействующее на заряд твердого тела (атома, молекулы, минерала и др.), находящегося в нем. Изучить взаимодействие ЭМП с твердым телом, находящимся в нем, и влияние этого взаимодействия на конечный продукт – наша задача.

В опытах заряд магнита принимаем как аналог заряда иона минералов цемента. И на базе результатов, по поведению твердых веществ в ЭМП, оцениваем свойства зарядов магнита и по аналогии судим о свойствах ионов разного знака в минералах вяжущих и клеящих веществ. При этом притяжение друг к другу магнитов называем синтезом магнитов.

По данным [1], бетон на основе портландцемента (ПЦ), известкового вяжущего (ИВ), высокопрочного (ВПГ) и полуводного (ПВГ) гипса, известково-кремнеземистого

(ИКВ) вяжущего включает следующие основные атомы, табл. 1. Они же составляют основу вяжущего сырья: цемента и воды. Эффективные заряды их приведены в табл. 2.

Таблица 1. Атомарное содержание минеральных вяжущих

Вид вяжущего	Количество атомов (%)									
	Ca	Fe	Al	S	Sm	C	H	O	$\Sigma(H+O)$	ΣMe
ПЦ	11,3	0,5	0,9	0,5	3,9		44,7	38,2	83	17,1
ИВ	9,1					9,1	12,5	45,5	82	18,2
ВПГ	8,3			8,3			33,3	50,1	83	16,6
ПВГ	8,3			8,3			33,3	50,1	83	16,6
ИКВ	17				7,9		44	32,2	76	24,9

В бетоне общее количество атомов кислорода и водорода $\Sigma(H+O)$ составляет 76–83%, и только 17–25% – атомы металла, ΣMe . Последних в 3ч5 раз меньше, а энергия связи их в разы больше энергии связи атомов водорода и кислорода. Кислород (родящий кислоту) присутствует в твердом теле в количестве 32–50%, но возможное возникновение кислоты противоречит нашему желанию иметь ее в бетоне. Водород (родящий воду) в количестве 12–45% также нежелателен, так как чем воды больше, тем выше пористость и ниже прочность бетона. К тому же вода-среда всегда порождает в бетоне больше негатива: размягчение, перекристаллизация и др. Поэтому при выборе исходного сырья и создании специальных бетонов надо учитывать не только увеличение количества атомов металла, но и изучать перспективные (с большим зарядом), табл. 2.

Таблица 2. Эффективные заряды атомов в основном состоянии

Атом	EA	Атом	EA	Атом	EA	Атом	EA
Атомы цементного вяжущего							
S	5,2	O	4,3	Al	3,4	Ca	2,8
Fe	4,3	Si	4,0	C	3,1	H	1,0
Атомы, перспективные для вяжущих							
Ba	3,3	P	4,6	Cl	5,8	Br	8,0
Cr	3,7	F	4,9	Bi	8,0	Rn	9,8

Характеристика магнитов. Магнитное поле заряда характерно наличием нескольких знаковых зон. Они могут быть оценены величиной радиуса между центрами ядер сближающихся зарядов разного знака. Это расстояние от центра заряда до внешних (валентных электронов) границ поля, когда оба облака в спокойном состоянии. Дальнейшее сближение возбуждает заряды, что отмечено r_b – радиусом возбуждения – предатомарное взаимодействие [2]. В момент

Таблица 3. Характеристика магнитов по величине их грузоподъемности

Конфигурация магнитов													
квадрат		круглый				трапеция		U-вида		Разрушен полу-			
		стержень		кольцо						квадрат		кольцо	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Грузоподъемность магнитов, г													
25	40	210	240	600	700	30	40	35	50	45	50	220	250
Расхождения в большую сторону, %													
	16		12,5		16,7		33,3		30		10,0		13,6

возбуждения магнит колеблется, поворачивается вплоть до 180° , ориентируясь противоположным знаком к заряду. Это кинетическая энергия при отсутствии движения одного заряда к другому. При дальнейшем сближении происходит стремительный бросок друг к другу, конец которого, очевидно, аналог перекрывания электронных облаков. Это r_0 – радиус перекрывания электронных облаков или атомарное взаимодействие [2]. Однако при взаимодействии двух реальных зарядов действуют не только силы притяжения (+ и –), но и силы отталкивания положительно заряженных ядер зарядов (+ и +) при очень малых расстояниях между ними. Возникает радиус равновесного противостояния: $r_{пв}$ – это расстояние от центра первого заряда до линии равенства сил притяжения двух зарядов друг к другу и положительных сил отталкивания их ядер. Любой ион проходит эти этапы при синтезе с другим. При этом известно: чем больше расстояние между заряженными телами, тем меньше сила их взаимодействия – притяжения или отталкивания. Задача технолога – изучить механизм этих процессов, определить влияющие факторы и облегчить их прохождение.

Самая простая характеристика полюсов магнита – это оценка идентичности их свойств. Она оценена по величине удерживаемого груза каждым полюсом (+ или –) в граммах. У изученных нами магнитов свойства двух полюсов далеко не идентичны, табл. 3.

Общая закономерность: грузоподъемность отрицательного полюса всегда выше положительного. Это свидетельствует о большей величине отрицательного заряда. Расхождения грузоподъемности полюсов, а следовательно, и силы их магнетизма, составляют 10,0–33,3%. Даже расколотые в полуквадрат и в полукольцо куски магнита имеют расхождения полюсов 10–13,6%, что в пределах величин целых магнитов, т.е. общие закономерности сохраняются. И если считать, что у целых магнитов заводской брак, то закономерность всех 7-ми, а в последующем и у других магнитов убеждает нас в обратном. И по данным Б. Франклина [3], в отрицательном полюсе большее количество электронов, а следовательно, и большая величина заряда, чем у положительного полюса. Отсюда следует, что магнит в целом – это диполь со смещением магнитного поля в сторону отрицательного заряда. Так ли это и с минералами цемента?

Отвердевание смеси. Если аналогично магнитам разность зарядов полюсов имеет место и в минералах цемента, то минералы – тоже диполь. И тогда такой минерал, как, например, СаО, которого в портландцементе 65–67% [2], (синтез Ca^{2+} с O^{2-}) можно изображать как ион – CaO^- . В

нем верхняя черта означает избыток отрицательного заряда (электронов) в сравнении с положительным зарядом. Это и есть избыточный электронный заряд, благодаря которому негашеная СаО всегда заряжена, возбуждена и не только готова к взаимодействию с водой (гашению), но и взрывоопасна. Эти выводы можно подтвердить, обращаясь к данным табл. 2. Эффективный положительный заряд атома кальция равен 2,8 эВ ($\text{Ca}^{2,8+}$), а отрицательный кислорода – 4,3 ($\text{O}^{4,3-}$), что приводит к расхождению величин на 53,6%. В трудах С.С. Бачанова отмечен именно отрицательный электронный химический потенциал [4], способный перетекать из области с высоким потенциалом в область с низким. Очевидно, что подобная разность между плюсом и минусом неизбежна: из-за наличия дефектности в энергии химических связей разных атомов и при отсутствии идеально одинаковых по силе зарядов двух ионов разного знака.

Следовательно, минералы цемента – это тоже диполи, всегда готовые к растворению, распаду на ионы разного знака, и чем сильнее заряд, тем выше степень ионизации системы «вяжущее – вода». Дипольная частица по сравнению с нейтральной всегда активнее. Это способствует ускоренному синтезу с другой частицей и быстрому отвердеванию бетонной смеси. Это один из вариантов ускоренного синтеза минералов и зарождения строительного материала. Второй более прост: диполи отрицательно заряженных минералов (кристаллов и др.) взаимодействуют с соседними диполями положительно заряженных минералов (кристаллов и др.) аналогично сцеплению одного магнита с другим. Чем больше величина диполя, тем более возбужден и активен к взаимодействию минерал вяжущего, тем скорее тестообразная фаза преобразуется в твердое тело. Облегчить этот процесс – значит правильно подобрать минералогический состав вяжущего, и средство его с разного рода добавками. И не только обращать внимание на цемент, а и пора задать вопрос: «а нужно ли нам много цемента?» Кроме него мы применяем новые добавки, в частности, на основе полиакрилатов и поликарбоксилатных эфиров, с электростатическим эффектом [5], разного рода твердые нановещества с атомами, аналогичными минералам цемента: углеродные нанотрубки, фуллерены, ультрадисперсные наполнители и др. Наряду с цементом они вносят свой – и немалый – вклад как тоже обладающие диполем и эффективным зарядом.

Характеристика системы «заряд – заряд» для изучения процесса синтеза (притягивания) магнитов друг к другу. В опытах приняты магниты в виде кольца, каждый диаметром 60 мм и толщиной 6 мм, у которых с одной стороны

положительный, с другой – отрицательный полюс. Каждая из сторон магнита притягивает цилиндрические металлические грузы в виде цепочки. Длина цепочки и ее масса оцениваются по потере силы магнетизма последним грузом – он удерживает только скрепку массой 0,3 г.

В табл. 4 приведены результаты синтеза, притягивания друг к другу (знак +) магнитов соответствующего номера.

Таблица 4. Длина связи в момент взаимодействия магнита с магнитом (система «заряд – заряд»)

Номера взаимодействующих магнитов	4+1	4+2	4+3	1+2	1+3
r_b при начале взаимодействия магнитов, мм:					
– скольжением	12	14	17	26	2
– качением	30	45	50	–	0

Сильные магниты №1 и №2 возбуждают и активизируют друг друга на значительно большем, в 2,1 раза расстоянии, чем сильный №4 со слабым №1 или два сильных №4 и №3 и два слабых №1 с №2 с разницей в 1,5 раза. При качении магнитов отсутствуют силы трения, и потому радиус ЭМП их взаимодействия значительно выше. Вывод: чем выше силы магнетизма и заряд полюсов магнитов, тем больше радиус их возбуждения и взаимодействия друг с другом, тем быстрее формируется твердое тело.

Комплекс магнитов до 4-х вместе (табл. 5) дает более обширную информацию. Синтез 2-х магнитов «1+2» имеет два полюса: положительный с левой стороны магнита №1 и отрицательный – с правой стороны магнита №2 и т.д. вплоть до системы из 4-х магнитов «1+2+3+4», у которых отрицательный заряд с внешней (правой) стороны магнита №4. Положительным полюсом всегда остается левая сторона магнита №1.

Таблица 5. Изменение грузоподъемности (вверху) и начала взаимодействия (внизу) магнитов по мере их синтеза друг с другом

Синтез магнитов, номер	Грузоподъемность, г, и взаимодействие, r_b , см, магнитов							
	1		2		3		4	
	+	–	+	–	+	–	+	–
одного	600 10,0	720 13,0	600 10,0	700 11,5	650 10,5	700 11,5	700 15,5	800 16,0
1+2	920 21,0			800 16,0				
1+2+3	1000 21,5		0	0	0	1030 19,0		
1+2+3+4	1150 23,5		0	0	0	0		11602 2,0

Примечание: 0 – нейтральная зона

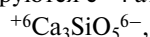
Результаты и в комплексе магнитов подтверждают закономерность большей величины отрицательно заряженного полюса (1160) в сравнении с положительным (1150). Тогда и комплекс магнитов – тоже диполь со смещением в сторону отрицательного заряда. Синтезируют магниты только между плюсом и минусом. Для синтеза магнитов с одноименным зарядом нужна принудительная сила, удерживающая их на определенном этой силой расстоянии друг от друга. Поэтому технолог должен учитывать разнообразие по заряженности минералов для вяжущих и клеящих

веществ, а также то, что электронов в них всегда больше, чем положительных зарядов. Тогда в добавках к вяжущим предпочтителен избыток положительных ионов.

По мере увеличения количества синтезированных магнитов в комплексе повышается грузоподъемность положительно заряженного полюса магнита №1: от 600 до 1150 г. (табл. 5, графа 2 по вертикали). То же – с изменением величины отрицательно заряженного полюса: от 720 г у магнита №1 (по диагонали 800, 1030 г) до 1160 г у магнита №4. Полюса в комплексе магнитов, граничащие с окружающей средой (плюс у магнита №1 и минус – у №4), увеличили свой химический потенциал в 1,6-1,9 раза. Эти результаты согласуются с данными Кузнецовой и др. [6] о тенденции к увеличению энергии химических связей во вновь возникших соединениях по мере повышения количества атомов в них: например, «энергия связи Ca–O при переходе от CaO к Ca(OH)₂ повышается весьма существенно (на 62,5 кДж/моль). Повышение энергии связи характеризует устойчивость соединения».

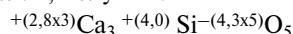
Возникший объем твердого тела, на внешних границах (левая сторона магнита №1 и правая – №4) которого сильные заряды, – фактор положительный. Волна высокозаряженных частиц объемно и всесторонне вовлекает во взаимодействие большее количество ионов, заряженных частиц, дипольных минералов, ускоряя процесс отвердевания и оставляя за собой сформировавшийся практически нейтральный конечный продукт. Вывод о нейтральном конечном продукте подтверждает то, что в комплексе 1+2+3+4 у магнитов №2 и №3 магнитное поле практически отсутствует – при наличии притяжения их друг к другу и сил связи между ними. У них заряды скомпенсированы одинаковой величиной зарядов плюса и минуса, а избыточные отрицательные заряды перетекают к внешним границам ЭМП, усиливая силу их магнетизма. Это существенно усиливает степень возбуждения соседних частиц, удлиняет радиус возбуждения и расширяет активную площадь ЭМП, ускоряя процесс преобразования дисперсной фазы (смеси) в монолит (бетон). Эти преобразования тем значительнее во времени, чем больше в составе бетонной смеси ионов минералов цемента и электрически заряженных частиц наполнителей, т.е. чем выше степень ионизации и электризации жидкой фазы бетонной смеси. И если новообразования, возникшие в период отвердевания смеси, остаются такими же и с теми же силами химических связей атомов, что и в конечном продукте, то за счет чего же происходит отвердевание смеси и переход ее в камнеподобное тело, бетон?

Закономерности взаимодействия атомов рассмотрим на примере цементного минерала алита, Ca₃SiO₅. С учетом валентности атомов структурная формула его: ⁺⁶Ca₃Si⁺⁴O₅^{10–}, а с учетом результатов исследований ⁺⁴ атома Si компенсируются с ^{–4} атома O₅^{10–}, получаем:

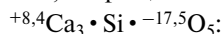


где Si – практически электронейтральный атом.

С учетом эффективных зарядов атомов, по данным табл. 2, получим:

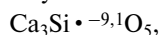


или, сокращая все цифры на 4:



где Si — нейтрально, как и у магнитов №2 и №3 в табл. 5.

• — условное (для ясности изложения) отделение одного атома алита от другого. Компенсируя заряд +8,4 снижением на такую же величину заряда с минусом, получим:



где $^{-9,1}\text{O}_5$ — избыточный эффективный отрицательный заряд (суммы атомов кислорода), определяющий величину диполя и активность минерала алита.

Автор приходит к выводу, что отвердевание смеси — это процесс преобразования дисперсной системы в монолитную. Он обеспечивается величиной зарядов, их количеством и степенью электризации и ионизации жидкой фазы бетонной смеси. Синтез минералов цемента произойдет при совмещении двух процессов: максимальной дисперсации и ионизации зерен цемента и минимальной толщины водных прослоек между ними [2].

Поэтому при выборе исходного сырья предпочтительны не только атомы с высоким эффективным зарядом, но и перспективные (табл. 2), вяжущие и наполнители с высокой степенью дисперсности и открытости зарядов, а жидкие добавки — с высокой степенью ионизации их составляющих.

Рост прочности. Закон сохранения энергии предполагает постоянство величины межатомных связей, возникших в любое время в период от укладки и уплотнения смеси до конечного продукта. Тогда за счет чего же растет прочность бетона во времени, если не растет сила межатомных и межмолекулярных связей? И как влияет наличие заряженных и нейтральных атомов в одном минерале на силу их связи? Для выяснения этого проведены опыты по определению силы сцепления одного магнита с комплексом других, табл. 6.

Таблица 6. Сила связей при отрыве одного магнита от комплекса других

Система связи магнитов	Разрыв между № магнитов	Площадь связи, см ²	Усилие отрыва, г	Сила связи, г/см ²
№1 с №2+№3+№4	№1 и №2	23,4	3700	158,1
№1+№2 с №3+№4	№2 и №3	23,4	3400	145,3
№1+№2+№3 с №4	№3 и №4	19,9	2800	140,7

Расхождения составляют 12,6%, что находится в пределах ошибки эксперимента. Тем более что в реальных условиях стабилизируется энергия межатомных связей, выравниваются величины ее и переходят на оценку по величине средней энергии межатомных и межмолекулярных связей. Но рост прочности энергии межатомных связей (силы связей, табл. 6) во времени исключен. А электронейтральные магниты №2 и №3 имеют между собой силу связи 145,3 г/см², т.е. в пределах соседних электрозаряженных.

Рост прочности бетона обеспечивается количеством синтезированных зарядов (минералов) т.е. степенью (глубиной) гидратации вяжущих и клеящих веществ. Чем больше цементных зерен с эффективными зарядами, тем выше степень гидратации цемента и выше плотность бетона при постоянной энергии межатомных связей. Плотность (г/см³) бетона первична, а прочность (МПа) — вторична.

И если марочную прочность бетона мы получим на 28-е сутки при степени гидратации цемента, например, 80%, то, обеспечив степень гидратации того же цемента 80% на 3-и сутки, получим требуемую марку бетона через 3-е суток отвердевания смеси. Именно поэтому специальные бетоны нового поколения требуют все более тонкого помола цемента и большего количества наноразмерных наполнителей, привносящих добавочное количество электрических зарядов. Возможен вариант уменьшения длины межатомных химических связей во времени и за счет этого — повышения плотности бетона, а значит, и его прочности. Прочность бетона — это количество новообразований в единице объема. Чем их больше, тем выше плотность и, соответственно, прочность.

Понимание того, что самое важное в строительном материаловедении — плюс и минус зарядов, заставит технолога умножать количество и энергию их любыми экономически выгодными средствами. Мы и сейчас, создавая цемент, практически добываем нужное количество зарядов за счет обжига при 1400-1500°C и помола природного сырья. Это дорого, а с учетом выделения большого количества CO₂ еще и экологически вредно. В идеале мы откажемся от обжига горных пород: будем составлять шихту сухим способом для помола с целью обнажения тех зарядов, которые в свое время понадобились горному массиву для его роста.

Выводы:

1. Основа в производстве бетона — количество и величина зарядов атомов. Они определяют выбор исходного сырья, минералогический состав которого даст максимально возможное количество новообразований.

2. Отвердевание и рост прочности бетона — практически одно и то же: физико-химическое преобразование смеси в камень. Роста прочности межатомных химических связей во времени не наблюдается, а с увеличением количества межатомных химических связей повышается только плотность твердого тела (кг/м³) и, как результат, повышается прочность (МПа) бетона. Понимание этого несколько меняет пути решения некоторых проблем и их оценку.

3. Основная проблема строительного материаловедения — экономически выгодное обеспечение исходного сырья большим количеством и величиной положительно и отрицательно заряженных веществ (ионов).

Библиографический список

1. Кучеренко А.А. Преобразование энергии межатомных связей минеральных вяжущих веществ // Сухие строительные смеси, №4, 2011, с. 23-25.
2. Кучеренко А.А. Теория твердения бетона // Технологии бетонов, ч. 2, №6, 2009, с. 5-7.
3. Эллиот Л., Уилкоккс У. / Физика. Перевод проф. А.И. Китайгородского — М.: Наука, 1975. — 734 с.
4. Бацанов С.С. Структурная химия. Факты и зависимости. — М.: Диалог-МГУ, 2000, — 292 с.
5. Breitenbacher R.: Selbsverdichtender Beton // Немецкий журнал Beton, №9, 2001, с. 496-499.
6. Кузнецова Т.В. Физическая химия вяжущих материалов / Т.В. Кузнецова. И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. — М.: Высшая школа, 1989, — 384 с.