© А.В. Гончаров, 2007

УДК 621.37

А.В. Гончаров

УВЕЛИЧЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ ЦЕМЕНТА ПРИ ЕГО ОБРАБОТКЕ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Время схватывания бетона и его прочность зависят от удельной поверхности минеральных частиц цемента. Чем выше удельная поверхность последних тем (логично предположить) меньше должно быть время схватывания бетона и выше его прочность.

Основными минералами входящих в цемент являются кварц (SiO_2), его содержание до 28 % и мел (CaO), содержание до 58 %.

В данной работе сделана оценка возможности увеличения удельной поверхности кварцевых частиц цемента при его обработке импульсным электромагнитным полем.

Известно, что кварц кристаллизуется в виде кремнийкислородных ***тетраэдров***. В центре тетраэдра находится четырехвалентный катион крем-ния Si^{4+}, а в вершинных – двухвалентные анионы кислорода O^{2-} (рис. 1, *а*). При этом между катионами Si^{4+} и анионами O^{2-} возникает ионная связь.

Согласно рис. 1, *а* изолированный кремнийкислородный тетраэдр имеет нескомпенсированный отрицательный заряд (на четыре положительных заряда кремния приходится восемь отрицательных зарядов кислорода).

Кремнийкислородные тетраэдры, соединяясь через свои вершины, могут образовывать слоистые структуры, развиваясь в плоскости своих оснований (рис. 1, *б*). Эта плоскость называется ***базальной***.

При соединении тетраэдров в базальной плоскости по гексагональному закону (рис. 1, *в*) образуются ***тетраэдрические ячейки гексагонального типа.*** Высота слоя этих ячеек (H) равна высоте элементарного тетраэдра (H = $4{,}93\cdot10^{-10}$ м).

Вид снизу на тетраэдрическую ячейку гексагонального типа (применительно к рис. 1, *в*) представлен на рис. 1, *г*. Здесь в вершинах общих для двух тетраэдров тетраэдрической ячейки гексагонального типа находится анионы кислорода O^{2-}, обеспечивая между этими тетраэдрами катионную связь. Таких связей шесть. Остальные 12 вершин тетраэдров обособленной тетраэдрической ячейки гексагонального типа заняты свободными анионами кислорода O^{2-}.

В обособленной тетраэдрической ячейке гексагонального типа (рис. 1, *в* и 1, *г*) на 24 положительных заряда катионов Si^{4+} (6·4) приходится 36 отрицательных зарядов анионов кислорода O^{2-} (6·2+6·2+6·2). Таким образом, в обособленном кремнийкислородном тетраэдре отношение отрицательных зарядов анионов O^{2-} к положительному заряду катиона Si^{4+} равно двум (8/4), а в обособленной кремнийкислородной ячейке гексагонального типа это отношение равно 36/24 = 1,5.

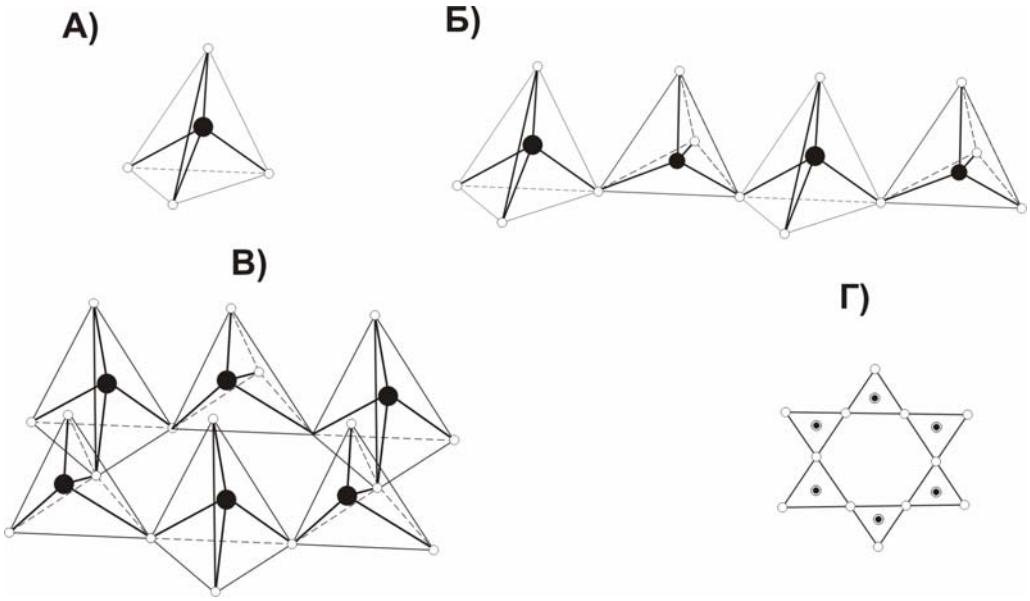

Рис. 1

Тетраэдрические ячейки гексагонального типа соединяются в базальной плоскости через свободные вершины тетраэдров. При этом свободные вершины тетраэдров одной ячейки гексагонального типа, соединяются со свободными вершинами тетраэдров смежной ячейки гексагонального типа. В этом случае между вершинами свободных тетраэдров двух смежных тетраэдрических ячеек гексагонального типа возникает ковалентная связь.

При ионной связи ионы с меньшей электроотрицательностью отдают электроны ионам с большей электроотрицательностью. ***Электроотрицательность*** – это способность притягивать электроны соседних ионов.

Численно электроотрицательность ($Э_о$) равна

$$Э_о = \frac{Э_1 + Э_2}{2}, \qquad (1)$$

где $Э_1$ – энергия, затрачиваемая на отрыв электрона от данного иона, Дж; эта энергия имеет знак плюс; $Э_2$ – энергия, выделяющаяся при присоединении электрона к данному иону, Дж; эта энергия имеет знак минус.

Энергия ионного взаимодействия ($Э_и$) определяется из выражения

$$Э_и = \frac{A}{h^n} = \frac{\alpha e^2}{h}, \qquad (2)$$

где A – константа, зависящая от типа минерала, Дж·м^n; h – расстояние между соседними взаимодействующими ионами, м; n – константа (n = 10÷12); α – постоянная Маделунга, Дж·м/К^2; *e* – заряд электрона, К.

При ионной связи кулоновские силы притяжения между катионами и анионами оказываются больше кулоновских сил отталкивания.

Равновесное расстояние между анионами (h_o) можно определить из формулы (2), взяв производную в правой части этого выражения по h и приравняв ее к нулю.

В результате получим:

$$-\frac{nA}{h_o^{n+1}} + \frac{\alpha e^2}{h_o^2}. \qquad (3)$$

Умножив числитель и знаменатель второго слагаемого в выражении (3) на h_o^{n-1}, получим:

$$-\frac{nA}{h_o^{n+1}}+\frac{h_o^{n-1}\alpha e^2}{h_o^{n-1}h_o^2}=0. \qquad (4)$$

Так как $h_o^{n-1}\ h_o^2=h_o^{n+1}$, то выражение (4) можно привести к виду:

$$\frac{h_o^{n-1}\alpha e^2-nA}{h_o^{n+1}}=0. \qquad (5)$$

Так как $h_o^{n+1}\neq 0$, то выражение (5) примет вид:

$$h_o^{n-1}\alpha e^2-nA=0, \qquad (6)$$

откуда равновесное расстояние между катионами и анионами элементарного кремнийкислородного тетраэдра равно:

$$h_o=\sqrt[n-1]{\frac{nA}{\alpha e^2}}. \qquad (7)$$

При $h>h_o$ превалируют силы притяжения между ионами, а при $h<h_o$ – силы отталкивания.

Равновесная энергия ионной связи в минералах зависит от их типа и равна $(2\div10)10^5$ Дж/моль. Ее определить можно, если подставить в выражение (2) вместо h величину h_o из выражения (7).

При ковалентной связи, имеющей место при соединении свободных вершин кремнийкислородных тетраэдров между собой, пара отрицательных электронов одновременно принадлежащих обоим анионам кислорода. Число ковалентных связей ограниченно, оно равно числу электронов недостающих во внешней оболочке каждого аниона для образования электронной конфигурации ближайшего инертного газа. Следовательно, ковалентная связь является насыщаемой. Ее энергия также как и ионная связь также колеблется в пределе $(2\div10)10^5$ Дж/моль.

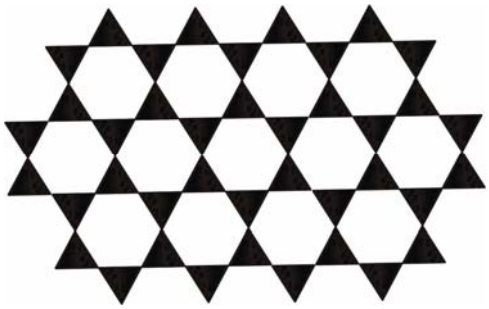

Рис. 2

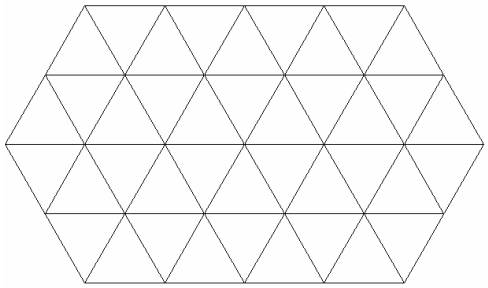

Рис. 3

Кремнийкислородные тетраэдрические ячейки гексагонального плана соединяясь в базальной плоскости образуют сетки (рис. 2). При этом с увеличением размеров сетки в результате соединения тетраэдрических ячеек гексагонального типа между собой отношения суммарного количества отрицательных зарядов анионов к суммарному количеству положительных зарядов катионов остается постоянным и равно 1,5 [1]. Сетки соединяясь между собой через вершины свободных тетраэдров в каждой базальной плоскости формируют кристаллы кварца (рис. 3). Чем больше кремнийкислородных тетраэдрических ячеек гексагонального плана в плоскости одной сетки (рис. 2) и чем больше количество сеток по вершинам (рис. 3), тем больше размер кристалла кварца.

Высота одного слоя сетки из кремнийкислородных тетраэдрических яче-

ек гексагонального типа равна высоте обособленного тетраэдра (H = $4{,}93\cdot10^{-10}$ м). На рис. 4 эта высота соответствует длине линии OO'.

Согласно определению все грани, углы и ребра тетраэдра одинаковы. Обозначим длину ребра тетраэдра “a”, а высоту грани тетраэдра равной “h”. Тогда, в соответствии с рис. 4, из треугольника DO'C имеем:

$$\frac{DO'}{O'C} = \frac{h}{a} = \cos 30^\circ, \qquad (8)$$

откуда $h = a\cdot\cos30^\circ$

По определению и в соответствии с рис.4 площадь треугольника AO'C равна:

$$S_Г = \frac{1}{2}AC - O'D = \frac{1}{2}a\cdot h = \frac{1}{2}a^2\cos30^\circ. \qquad (9)$$

Согласно рис. 4 и по определению

$$OB = \frac{2}{3}DB = \frac{2}{3}h$$

или

$$OB = \frac{2}{3}a\cos30^\circ.$$

Обозначим угол OBO' через “β”. Тогда, в соответствии с рис. 4, из треугольника OBO' имеем:

$$\cos\beta = \frac{OB}{O'B} \quad \text{или}$$

$$\cos\beta = \frac{\frac{2}{3}a\cos30^\circ}{a} = \frac{2}{3}\cos30^\circ. \qquad (10)$$

Из выражения (10) следует, что $\beta=54^\circ50'$. Из треугольника OO'B имеем:

$$\frac{OO'}{O'B} = \sin\beta \quad \text{или} \quad \frac{H}{a} = \sin54^\circ50',$$

откуда

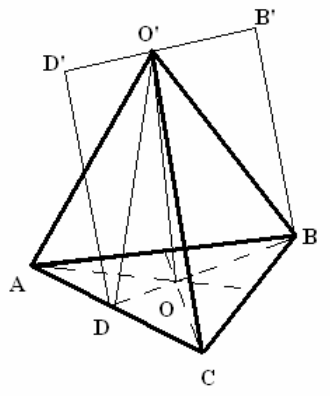

Рис. 4

$$a = \frac{H}{\sin54^\circ50'} = \frac{4{,}93\cdot10^{-10}\,м}{0{,}577333} = \qquad (11)$$
$$= 8{,}54\cdot10^{-10}\,м.$$

С учетом (11) и согласно (9) площадь грани кремнийкислородного тетраэдра будет равна:

$$S_Г = \frac{1}{2}a^2\cos30^\circ = \frac{1}{2}(8{,}54\cdot10^{-10})^2 0{,}866 =$$
$$= 31{,}58\cdot10^{-20}\,м^2. \qquad (12)$$

Согласно (12) и рис. 1, *г*, площадь занимаемая одной тетраэдрической ячейкой гексагонального типа равна:

$$S_я = 12\cdot S_Г = 12\cdot31{,}58\cdot10^{-20} =$$
$$= 379\cdot10^{-20}\ м^2. \qquad (13)$$

Как было отмечено ранее, в обособленной кремнийкислородной тетраэдрической ячейке гексагонального типа, количество положительных зарядов катионов кремния равно 24, а количество отрицательных зарядов анионов кислорода равно 36. Общее количество зарядов одной кремнийкислородной тетраэдрической ячейки гексагонального типа равно N_3 =24e+ + 36e = 60e (где e – заряд электрона $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ К).

Таким образом плотность нескомпенсированных зарядов ($П_з$) на поверх-

ности кремнийкислородной ячей-ки гексагонального типа равна:

$$П_з = \frac{N_з}{S_я} = \frac{60 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{379 \cdot 10^{-20}} = 2,53 \frac{К}{м^2} \quad (14)$$

Общая величина нескомпенсированного заряда на поверхности микропоры (микротрещины) внутри кварцевой частицы будет равна:

$$q = П_з \cdot S, \quad К. \quad (15)$$

Сила, действующая на нескомпенсированный заряд, находится на поверхности микропоры (микротрещины) равна:

$$F_o = \frac{N_з^2}{2\varepsilon_o} \cdot S, \quad Н \quad (16)$$

где ε_o – диэлектрическая постоянная вакуума, $\varepsilon_o = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; S – площадь поверхности одной стороны микропоры (микротрещины) внутри кварцевой частицы, $м^2$.

Так как размерность фарады:

$$Ф = \frac{a^2 \cdot c^4}{кг \cdot м^2},$$

то размерность в формуле (16) будет (учитывая, что $[a] = \left[\frac{К}{с}\right]$):

$$F_o = \frac{К^2}{м^4} \cdot \frac{м}{\frac{a^2 \cdot c^4}{кг \cdot м^2}} \cdot м^2 = \frac{кг \cdot м}{c^2} = Н.$$

По определению напряженность внутреннего электромагнитного поля, вызванная нескомпенсированным зарядом находящимся на поверхности одной стороны микропоры (микротрещины), равна:

$$E_{внут} = \frac{F_o}{q}, \quad \frac{В}{м} \quad (17)$$

где q – величина заряда на поверхности микропоры (микротрещины), К.

Подставляя (16) в (17) и учитывая (15) получим:

$$E_{внут} = \frac{N_з^2}{П_з \cdot 2\varepsilon_o}, \quad \frac{В}{м} \quad (18)$$

Если твердое тело с микропорой внутри поместить во внешнее электрическое поле, то суммарная напряженность электрического поля будет

$$E_c = E_{внут} + E_{внеш}, \quad (19)$$

где $E_{внеш}$ – напряженность внешнего электрического поля, В/м.

При этом суммарная сила, действующая на нескомпенсированный заряд, находящейся на поверхности микропоры (микротрещины) внутри кварцевой частицы, будет равна:

$$F_c = E_c \cdot q \quad (20)$$

В этом случае механическое растягивающее напряжение на острие микропоры (микротрещины), находящейся внутри кварцевой частицы, будет равно:

$$P_c = \frac{F_c}{S} = \frac{E_c q}{S} = \frac{(E_{внут} + E_{внеш}) \cdot П_з \cdot S}{S} = \frac{N_з^2}{2\varepsilon_o} + \frac{E_{внеш}}{П_з} \quad (21)$$

Подставив в (21) значения $N_з$ и ε_o можно убедится, что величина первого слагаемого в выражении (21) на много порядков меньше второго, поэтому им можно пренебречь. С учетом этого выражения (21) примет вид:

$$P_c = E_{внеш} \cdot П_з . \quad (22)$$

Величина $П_з$ для кварца известна и равна согласно (14) 2,53 $К/м^2$. Зная предел прочности кварца на растяжение (это порядка $2 \cdot 10^7$ Па) можно из (22) определить величину $E_{внеш}$, при которой частица кварца разрушится. Это будет иметь место при $E_{внеш} = 8 \cdot 10^6$ В/м. Данная количественная оценка сделана для случая когда предел прочности на растяжение для кварца примет равным $2 \cdot 10^7$ Па. Согласно же теории Гриффитса предел прочности твердого тела на

растяжение при наличии в нем трещины, расположенной перпендикулярно к приложенному растягивающему усилию, примерно на полтора-два порядка меньше, чем без трещины. С учетом этого необходимая напряженность импульсного электромагнитного поля, при которой микропора (микротрещина) находящаяся внутри частицы кварца выйдет на поверхность и частица разрушится, будет равна примерно $(0{,}8 \div 1{,}5) \cdot 10^5$ В/м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гончаров С.А., Бондаренко Ю.В., Чурилов Н.Г., Семенов В.В.* Оценка электростатического заряда пылевых частиц образующихся при добыче и переработке железистых кварцитов. – М., Горный журнал, №2, 2002, с. 82-84.

Коротко об авторах

Гончаров Антон Валерьевич – студент, Московский инженерно-строительный институт.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ДЕМЕНТЬЕВ Владимир Александрович	Технология выемки породы при добыче органо-минеральных илов в обводненной залежи	25.00.22	к.т.н.
ШУРЫГИН Дмитрий Николаевич	Расчет сдвижений и деформаций по площади мульды с учетом ее эллиптичности и механизма сдвижения наносов и коренных пород	25.00.16	к.т.н.