

УДК 622.7

Е.Н. Липная

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ НА ПРОЦЕСС ФЛОКУЛЯЦИИ МАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Рассмотрены описания различных механизмов образования электрических зарядов на поверхности частиц и способы количественной оценки их величины. Осуществлен анализ возможности процесса дефлокуляции частиц имеющих противоположные заряды за счет изменения свойств воды, образующей двойной электрический слой.

Ключевые слова: магнетитовый концентрат, флокуляция, флокула, поверхностный заряд, заряженные дислокации, двойной электрический слой, трибоэлектричество, пьезоэлектричество.

Семинар № 22

E.N. Lipnaya
**THE INFLUENCE ANALYSIS OF
PARTICLES ELECTROSTATIC
INTERACTION TO THE PROCESS OF
MAGNETITE CONCENTRATE
FLOCCULATION**

In the work the description for different mechanisms of particle surface electrical charges formation and their quantity evaluation models are considered. The analysis of the oppositely charged particles deflocculating process possibility by changing the water properties in a double electric layer is accomplished.

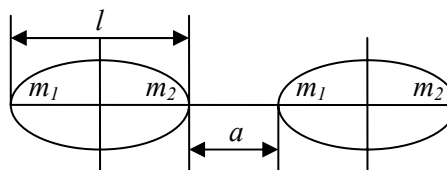
В процессе получения магнетитового концентрата осуществляются технологические операции по измельчению рудного материала и его магнитного обогащения. При осуществлении магнитной сепарации имеет место захват частиц представляющий собой сростки магнетита и кварца, а также захват свободных нерудных частиц, что ухудшает технологические показатели процесса обогащения. Захват свободных нерудных частиц происходит, предположительно, за счет образования флокул. Образование флокул может быть обусловлено магнитным и электростатическим взаимодействием частиц.

Магнитно-адгезионное взаимодействие частиц с образованием флокул наиболее характерно для ферромагнитных сред, в которых магнитный поток многократно преломляется при переходе из вакуума воды или воздуха (диа- или немагнитной среды) в ферромагнитную среду и наоборот (ферро-магнитную среду и полиградиентные среды и т.д.). Такие среды обладают повышенной магнитостатической энергией, зависящей, как правило, от внешнего поля. Уровень этой энергии, приводящий к магнитному взаимодействию частиц суспензии, определяет механические напряжения, вызывающие повышение ее вязкости и потерю устойчивости [1].

При потере устойчивости происходит «самодеформация» или «свертывание» ферромагнитной фазы суспензии, сопровождающаяся снижением ее магнитостатической энергии, которая приводит к образованию хлопьеобразных агрегатов из отдельных частиц – флокул.

Силы взаимодействия отдельных магнитных диполей – частиц могут быть приближенно определены на основе магнитного закона Кулона. Иными словами: магнитная флокуляция – это процесс образования агрегатов из частиц

Рис. 1/ Положение частиц при взаимодействии



сильномагнитных материалов под влиянием внешнего магнитного поля или за счет остаточной магнитной индукции этих частиц [1].

Магнитная флокуляция, вызванная остаточной индукцией, имеет подчиненное значение в магнитной сепарации, но она значительно влияет на процессы тонкой классификации, искажая результаты седиментационного анализа. Этот вид флокуляции влияет также на флотацию, сгущение, фильтрацию и измельчение сильномагнитных минералов, и в этих процессах он заслуживает внимания [1].

Магнитную флокуляцию условно можно рассматривать как взаимодействие «магнитных масс» частиц (собственных или наведенных внешним полем) на основе магнитного закона Кулона. Полное выражение силы притяжения двух диполей (рис. 1) имеет вид:

$$F_r = \frac{m_1 m_2}{a^2} + \frac{m_1 m_2}{(a + 2l)^2} - 2 \frac{m_1 m_2}{(a + l)^2},$$

где m_1, m_2 – магнитные массы взаимодействующих частиц или флокул; r – расстояние между условными точками их сосредоточения; l – длина диполей;

Для диполей, длина которых l существенна, первый член значительно превышает сумму второго и третьего, поэтому последними можно пренебречь. В случае взаимодействия «магнитных масс», наведенных внешним магнитным полем, величину силы этого взаимодействия можно выразить следующим образом:

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2} \cos \alpha,$$

где μ_0 – магнитная проницаемость среды (в системе СГСМ), для пустоты, воздуха и воды $\mu_0 \approx 1$; α – угол между вектором напряженности магнитного поля и линией взаимодействия частиц или флокул [1].

Понятие «магнитная масса», является эквивалентом заряда в электростатике, лишено непосредственного физического смысла, но удобно для изучения многих процессов магнитостатик [1].

Применительно к магнитному обогащению и дешламации тонкоизмельченных сильномагнитных руд, исследования по повышению качества концентратов проводятся в основном в направлении очистки уже образовавшихся флокул от немагнитных включений. С этой целью увеличивают длину зоны сепарации, применяют вращающиеся магнитные системы, повышают частоту магнитного поля. Но даже при самых благоприятных условиях не удастся очистить флокулы от богатых сростков и немагнитных включений, так как нижние слои материала на поверхности барабана практически неподвижны, а сепарация в монослое удорожает технологию магнитного обогащения руд [1].

Как было сказано выше, закономерности магнитной и электростатической флокуляции являются подобными, подчиняющиеся закону Кулона, характеризующиеся взаимодействием «магнитных» и электростатических зарядов соответственно.

Причины образования электрического заряда на поверхности частиц могут иметь различную природу, а именно: за счет трибоэлектрического эффекта; пьезоэлектрического эффекта, возникающего при деформировании кварца и других минералов – пьезоэлектриков; за счет наличия дислокаций, имеющих нескомпенсированный заряд; эффекта Степанова, характеризующий появление поверхностного заряда при деформации ионов кристаллов и др.

Трибоэлектричество, явление возникновения электрических зарядов при трении. Наблюдается при взаимном трении двух диэлектриков, полупроводников или металлов различного химического состава или одинакового состава, но разной плотности, при трении металлов о диэлектрики, при трении двух одинаковых диэлектриков, при трении жидких диэлектриков друг о друга или о поверхность твёрдых тел и др. При этом электризуются оба тела; их заряды одинаковы по величине и противоположны по знаку [2].

Трибоэлектричество характеризуется рядом закономерностей. При трении двух химически одинаковых тел положительные заряды получает более плотное из них. Металлы при трении о диэлектрик электризуются как положительно, так и отрицательно. При трении двух диэлектриков положительно заряжается диэлектрик с большей диэлектрической проницаемостью [3].

Электризация трущихся тел тем больше, чем больше их поверхность.

Трибоэлектричество у твёрдых тел объясняется переходом носителей тока при трении от одного тела к другому.

При трении двух диэлектриков, отличающихся только плотностью, из более плотного вещества будет диффундировать больше электронов и оно зарядится положительно; при контакте двух разных диэлектриков из вещества с большей диэлектрической проницаемостью будет переходить больше электронов [2].

Следует отметить, что причиной трибоэлектричества может служить также механическое удаление отдельных участков поверхности пьезоэлектриков [2].

Пьезоэлектричество, явления возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект) и возникновения механических деформаций под действием электрического поля (обратный пьезоэлектриче-

ский эффект). Прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты наблюдаются в одних и тех же кристаллах — пьезоэлектриках (кварц, турмалин и др.) [4, 5].

Анализ процессов образования зарядов с позиции теории дислокации, показывает что у дислокации могут оседать с равной вероятностью как катионные, так и анионные вакансии, поскольку энергия их связи с ядром дислокации одинакова. Поэтому в чистых кристаллах на дислокациях должно быть одинаковое число положительно и отрицательно заряженных ступенек, и дислокации будут в целом электронейтральными. В реальном кристалле из-за присутствия примесей всегда имеются в избытке вакансии одного сорта. Оседание (захват при движении) этих вакансий на нейтральных ступеньках может быть наиболее вероятной причиной появления заряженной ступеньки на дислокации [6].

Связь заряда на поверхности с подошедшими к поверхности заряженными дислокациями подтверждается сопоставлением поверхностного заряда с движением дислокаций при деформации [6].

Двухвалентные примеси оказывают влияние как на напряжение, отвечающее появлению заряда, так и на величину и знак заряда [6].

Количественная оценка величины поверхностного заряда как правило производится экспериментально: путем измерения электрического потенциала, возникающего при деформировании минерала [6]; путем изучения влияния содержания анионов и катионов в коллоидных системах на их устойчивость [7], а также путем измерения скорости движения дислокаций под действием электрического поля [9].

Теоретическая оценка величины поверхностного заряда в зависимости от размера частиц и химического состава параметров кристаллической решетки минерала впервые была сделана в работе [8]. Указанная теория основывает-

ся на расчете заряда элементарной кристаллической решетки с учетом валентности элементов входящих в состав данного минерала.

При этом получена оценка величины электростатического заряда частиц кварца и гематита как в плоском (в базальной плоскости), так и в трехмерном случаях. Предполагалось, что базальная плоскость совпадает с горизонтальной. Элементарной структурной единицей кварца является тетраэдр с четырьмя анионами кислорода O^{2-} в вершинах и катионом кремния Si^{4+} внутри. Отношение положительного заряда катиона к отрицательному заряду анионов в обособленном тетраэдре равно 0,5. Структурные единицы кварца объединяются между собой в горизонтальной (базальной) плоскости в тетраэдрические ячейки гексагонального типа. Последние образуют сетки в горизонтальной плоскости. Количество катионов Si^{4+} и анионов O^{2-} зависит от ее размеров.

Проведенные расчеты показали, что для частицы кварца размером 5 мкм, у которой число рядов и число этажей равно примерно 25000, отношение $Si^{4+}/O^{2-} = 1,2727$. Это свидетельствует о нескомпенсированном положительном заряде частицы.

Расчеты показали, что отношение Fe^{3+}/O^{2-} стремится к 1,4999. Число рядов гексагональных ячеек, равное 25000 и аналогичное числу этажей, соответствует размеру частиц примерно 10 мкм [8].

Кулоновское взаимодействие между частицами твердой фазы, имеющих поверхностный заряд, являются причиной возникновения сил Ван-дер-Ваальса. Однако полное соприкосновение частиц за счет кулоновского взаимодействия не происходит по причине возникновения между частицами двойного электрического слоя (ДЭС).

Частицы, находящиеся в полярной жидкости, такой, как вода, обычно несут чистые (несвязанные) заряды на своей поверхности. Ионы дисперсионной

среды, имеющие заряд, противоположный заряду частицы, притягиваются к поверхности частицы, а ионы одинакового заряда отталкиваются от нее. Наложение этого эффекта на эффект перемешивания от теплового движения приводит к образованию ДЭС.

Силы, действующие между двумя тонкодисперсными частицами, зависят от расстояния между ними. Если расстояние между частицами достаточно велико, то преобладают силы притяжения Ван-дер-Ваальса. На малых расстояниях преобладают силы отталкивания. Зависимости результирующей силы F и потенциальной энергии E_p взаимодействия между частицами от расстояния между их центрами качественно изображены на рис.2. При некотором расстоянии $r = r_0$ сила взаимодействия обращается в нуль. Это расстояние условно можно принять за диаметр частицы. Потенциальная энергия взаимодействия при $r = r_0$ минимальна. Чтобы удалить друг от друга две частицы, находящиеся на расстоянии r_0 , нужно сообщить им дополнительную энергию E_0 . Величина E_0 называется глубиной потенциальной ямы или энергией связи.

Однако между физическими и химическими связями все же есть одно принципиальное отличие. Это принципиальное отличие - насыщенность химических связей в противовес абсолютной не насыщенности ван-дер-ваальсовых и ионных (по этому их часто тоже относят к физическим связям) взаимодействий.

На основании выше изложенного можно сделать выводы:

1. Процесс магнитной и электростатической флокуляции частиц входящих в состав магнетитового концентрата подчиняется закономерностям описанным законом Кулона.

2. Величина поверхностного заряда частиц определяется трибоэлектрическим эффектом, процессами разрушения кварца являющегося пьезоэлектриком, величиной остаточных структурных

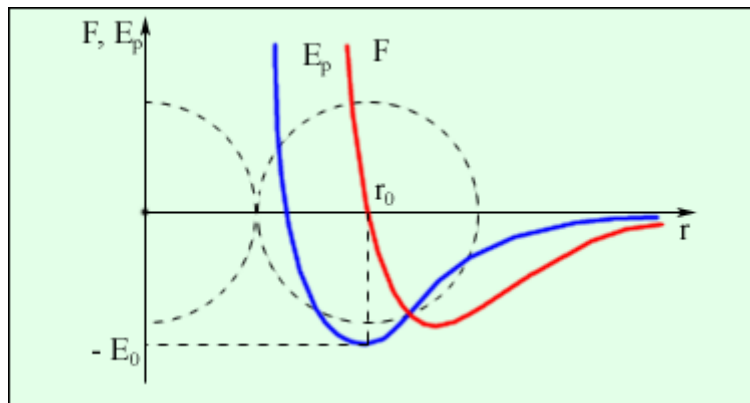


Рис. 2. Сила взаимодействия F и потенциальная энергия взаимодействия E_p двух частиц. $F > 0$ – сила отталкивания, $F < 0$ – сила притяжения

напряжений в минералах входящих в состав магнетитового концентрата, размером частиц и валентностью элементов образующих минерал, а также плотностью дислокаций.

3. Осуществление процесса дефлокуляции должно быть направлено на

увеличение расстояния между частицами, имеющими поверхностный заряд, а также на изменение свойств воды, образующей ДЭС, с целью уменьшения величины потенциальной ямы, характеризующей величину энергии, необходимой для разрушения флоккулы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические методы обогащения полезных ископаемых: Учебник для вузов. 1 том. - М.: МГГУ, 2005. - 669 с.
2. Хвольсон О.Д. Курс физики, 5 изд., т. 4, Берлин, 1923.
3. Лёб Л. Статическая электризация, пер. с англ., М.—Л., 1963.
4. Кэпл У. Пьезоэлектричество и его практическое применение, пер. с англ., М., 1949.
5. Мэзон У. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке, пер. с англ., М., 1952.
6. Урусовская А.А. Электрические эффекты, связанные с пластической деформацией ионных кристаллов // Успехи физических наук, том 96, вып.1, 1968, №9, С. 39-60.
7. Жан-Клод Бакри, Рене Массарт. Синтез и изучение физико-химических свойств магнитных коллоидов на основе водных сред, не содержащих поверхностно-активных веществ // Nouveau journal de chimie, 1983, volume 7, № 5, С.325-331.
8. Гончаров С.А., Бондаренко Ю.В., Чурилов Н.Г., Семенов В.В. Оценка электростатического заряда пылевых частиц, образующихся при добыче и переработке железистых кварцитов // Горный журнал. – 2002, №7, С. 82-84.
9. Тяпунина Н.А., Белозерова Э.П. Заряженные дислокации и свойства щелочно-галогенидных кристаллов // Успехи физических наук, том 156, вып.4, 1988, №12, С. 683-717. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Липная Е.Н. – аспирантка, Московский государственный горный университет
katrinalmaz@rambler.ru