

УДК 622.7

**Е.Н. Липная, К.И. Наумов, Т.И. Юшина,  
П.П. Ананьев, С.А. Потапов**

## **ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ МАГНЕТИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ**

*Предложены общие требования к разработке и созданию оборудования для электроимпульсной обработки магнетитовых концентратов с целью повышения их качества за счет удаления части раскрытых кварцевых зерен.*

*Ключевые слова: электроимпульсное воздействие, дефлокуляция, поляризация, диэлектрические свойства, генератор импульсного магнитного поля.*

---

**И**зучение проблемы повышения качества магнетитовых концентратов позволило установить резервы повышения содержания железа в них в среднем на 0,5-1,0 % без увеличения степени раскрытия минералов за счет удаления части раскрытых кварцевых зерен [1, 2].

Микроскопический анализ магнетитового концентрата крупностью минус 0,074 мм показал [3], что все частицы магнетита покрыты большим количеством шламов минералов пустой породы (преимущественно кварца), которые достаточно трудно удалить с использованием традиционных технологий.

Это обусловлено, в том числе, процессом электростатической флокуляции, которая вызвана наличием разноименных поверхностных зарядов рудных и шламовых нерудных частиц.

На поверхности магнетита и кварца положительные и отрицательные заряды расположены локально в зависимости из особенностей выхода заряженных дислокаций на поверхность [8]. В работе академика Осипьяна Ю.А. приведены результаты анализа, который показал, что дислокации в кристаллах «цветные», то есть если дислокационная

линия оканчивается атомами металла, то вдоль дислокации лежат атомы металла. Бывают случаи, когда вдоль дислокации располагаются атомы шестой группы. Ясно, что они должны вести себя по-разному: линия атомов шестой группы должна быть линией доноров, а линия атомов, которые относятся к металлам, - линией акцепторов. Экспериментальная проверка [8] показала, что такие *рп*-переходы возможны. Дислокации в таких кристаллах могут иметь как различную валентность вдоль своей линии, так и быть разного знака – положительного или отрицательного. Также экспериментальные исследования [8] показали, что при деформировании кристалла возникает электрический дислокационный ток, который можно измерить при нанесении контакта на боковые грани кристалла полупроводника. Частицы магнетита, который является полупроводником, после процесса измельчения имеют остаточные напряжения. Так как частицы находятся в водной среде, можно предположить, что поверхностный заряд магнетитовых частиц со временем будет уменьшаться, что целесообразно учитывать при оценке поверхностного

заряда путем введения соответствующего поправочного коэффициента.

Свойства поверхности минерала зависят также от кристалло-химического строения минерала, определяющего характер, число и расположение образующихся при измельчении связей. Чем больше связей разрушено и чем они сильнее, тем больше полярность и заряд поверхности. Поскольку поверхность частицы имеет заряд, в пространстве, окружающем частицу, появляется электрическое поле [7, 9]. Характер изменения потенциала этого поля по мере удаления от поверхности минерала (в отсутствии специфических ионов) убывающий. Поэтому образование флокул может быть обусловлено слипанием частиц магнетита и кварца при соприкосновении противоположно заряженными участками поверхности. Разрушение таких флокул может быть осуществлено за счет воздействия внешнего электрического поля.

При воздействии внешнего электрического поля на поверхности частиц рудной и нерудной фазы, имеющих разную диэлектрическую проницаемость, вследствие поляризации будут возникать наведенные заряды. При определенном значении параметров внешнего поля, контрастности диэлектрических свойств рудного и нерудного материала, формы частиц, их размера и т.д., могут возникнуть условия, при которых близлежащие частицы приобретут заряд одинакового знака, что приведет к возникновению сил отталкивания и дефлокуляции частиц.

Известно [3], что электрохимический метод обработки (ЭХО) пульпы влияет на адсорбционно-десорбционные процессы, протекающие на поверхности минеральных частиц за счет кратковременного заряжения минералов в потоке пульпы и регулирования окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) жидкой фазы. ЭХО бла-

гоприятно влияет на минералы, обладающие проводниковыми свойствами, так как изменение заряда частиц твердого тела и ОВП водной фазы тесным образом связано с концентрацией носителей электрического заряда в поверхностных слоях минералов [3].

В работе [3] показан эффект электрообработки за счет увеличения селективной флокуляции железосодержащих минералов, характеризуемой слипанием мономинеральных частиц. Об этом свидетельствуют результаты измерения скорости осаждения частиц магнетитового концентрата крупностью 90% класса минус 0,05 мм. Скорость осаждения частиц при поляризации этого материала увеличивается до  $1,85 \cdot 10^{-3}$  м/с против  $1,3 \cdot 10^{-3}$  м/с в обычных условиях. Увеличение скорости осаждения частиц магнетитового концентрата может быть обусловлено увеличением размера флокул, за счет освобождения поверхности частиц магнетита от шламистых частиц кварца. Увеличение количества селективных флокул в концентрате после обработки пульпы было обнаружено и при минералогическом его анализе.

Селективность флокуляции определяется изменением свойств поверхностей взаимодействующих частиц за счет повышения энергетического барьера отталкивания железорудных минералов и кварца. Это выявлено измерениями изменений электрокинетического потенциала и исследованиями изменения поверхности минералов на сканирующем микроскопе [3].

Просмотр частиц магнетита крупностью -0,074 мм под микроскопом показал, что все они покрыты большим количеством шламов минералов пустой породы, при этом закрепление кварца носит адгезионный характер, и шламистые частицы не отмываются даже при перемешивании пульпы в течение 5-10 мин. ЭХО способствует удалению час-

тиц кварца с поверхности, и некоторые зерна магнетита при этом совершенно освобождаются от посторонних налипших шламовых частиц, а на других присутствуют лишь единичные шламы. Поверхность магнетита несколько изменяется, возникают трещины, появляются угловые и изометрические обломки, зерна с шероховатой чешуйчатой поверхностью, что свидетельствует о некотором обновлении поверхностных слоев [3]. Для обеспечения дефлокуляции могут потребоваться большие значения величины амплитуды внешнего электрического поля, поэтому генерацию его целесообразно производить в импульсном режиме. Это приведет к снижению энергоемкости обработки пульпы.

Авторами статьи предлагается технология электроимпульсного кондиционирования пульпы для обеспечения дефлокуляции, основанной на использовании разрядно-импульсных воздействий.

Сущность предлагаемой технологии заключается в том, что вокруг зоны импульсного электрического разряда внутри объема жидкости, находящейся в открытом или закрытом сосуде, возникает ситуация электрического пробоя на ранней стадии, с образованием газо-плазменного потока [6].

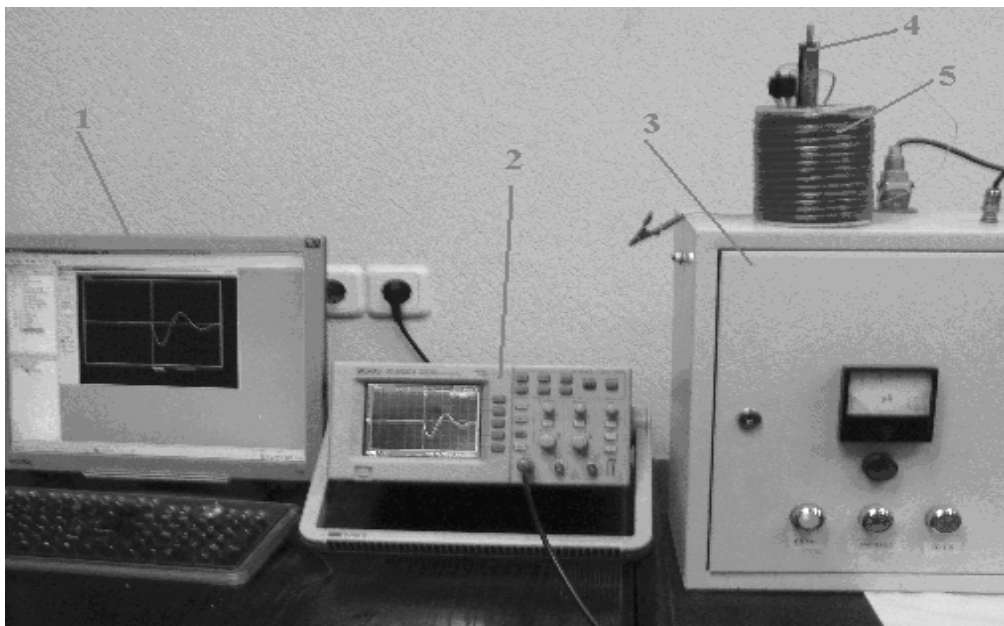
Модель развития предпробойных процессов можно представить следующим образом. Под действием электрического поля, возникающего между электродами и действующего на пузырьки, выделившиеся в жидкости на катоде и аноде. В этих пузырьках возникают ионизационные процессы (частичные разряды). Далее в результате ударной ионизации происходит резкое нарастание числа электронов и ионов, которые и образуют газо-плазменный разрядный канал. В момент резкого нарастания числа проводящих частиц происходит быстрое увеличение про-

водимости жидкости. При этом происходит расщепление молекул воды с появлением свободных радикалов ( $H^+$  и  $OH$ ), синглетного кислорода –  $^1O_2$ , озона –  $O_3$ , перекиси водорода  $H_2O_2$ . Для обеспечения низкой энергоемкости процесса необходимо, чтобы используемое оборудование обеспечивало только раннюю стадию электропробоя, что обеспечивается генерацией достаточно малых во времени электрических импульсов [6].

Для апробации выше указанного способа был создан лабораторный стенд для обработки пульпы (рис. 1). Электроимпульсное кондиционирование железорудной суспензии проводилось в электролизерах, предназначенных для обработки рудной пульпы [3], например коаксиального типа. К качестве источника первичного преобразования энергии используется генератор асинхронных напряжений (установка типа «ГАН»), а в качестве инструмента воздействия на среду – система рабочих электродов, связанных с источником напряжения посредством импульсного трансформатора, первичная обмотка которого подключена к установке ГАН. При этом первичная обмотка генерирует импульсное магнитное поле и является также инструментом дополнительного воздействия на среду.

В процессе лабораторных испытаний рассматривались такие виды воздействия как электроимпульсное кондиционирование суспензии (ЭИК), а также совместное воздействие с магнитно-импульсной обработкой (МИО) пульпы с целью дополнительного разрушения сростков [4].

Результаты минералогического анализа проб после обогашения на магнитном анализаторе без дополнительной обработки и при различных режимах обработки представлены в таблице.



**Рис. 1. Лабораторный стенд для ЭИК пульпы:** 1 – персональный компьютер, 2 – цифровой осциллограф, 3 – установка ГАН 1, 4 – первичная обмотка (индуктор), 5 – электролизер коаксиального типа

**Результаты лабораторных испытаний электроимпульсного кондиционирования черного магнетитового концентрата**

Воздействие	Содержание раскрытых рудных частиц в к-те ММС, %	Содержание раскрытых нерудных частиц в к-те ММС, %
Без обработки	84,4	6,4
Последовательная обработкой ЭИК и МИО	83,4	4,8
Синхронная обработка ЭИК и МИО	84,1	4,8

Как показали результаты лабораторных испытаний, синхронное воздействие импульсных магнитных и электрических полей дает лучший результат с точки зрения устранения нерудных частиц из концентрата при сохранении содержания рудных. Кроме того в обработанном концентрате при его магнитном обогащении увеличивается содержание бедных сростков с 1,4 до 3,2%, что возможно при освобождении рудной части сростка от налипших шламов кварца. Поэтому обеспече-

ние неизменного выхода концентрата при повышении содержания  $Fe_{общ}$  в нем возможно за счет снижения потерь бедных сростков.

Результаты проведенных испытаний показывают возможность повышения содержания  $Fe_{общ}$  в рядовом концентрате на 0,3 % при неизменном выходе концентрата, что создает резервы увеличения объемов производства по исходной руде на 2-3 %, без ухудшения качества рядового магнетитового концентрата.

На основании вышеизложенного могут быть сформулированы следующие общие требования к разработке и созданию оборудования для предварительной обработки магнетитовых промпродуктов перед их магнитной сепарацией с целью повышения качества получаемых концентратов.

1. В состав оборудования должен входить аппарат, обеспечивающий воздействие импульсного магнитного поля на пульпу, содержащую магнетитовый концентрат, путем его пропускания через катушку индуктивности, соединенную с генератором импульсного магнитного поля.

В качестве такого аппарата целесообразно использовать технологическую установку типа ГАН (генератор асинхронных напряжений), обеспечивающую воздействие импульсными полями сложной пространственно-временной структуры [5].

2. В состав оборудования должен входить модернизированный электролизер, соединенный с источником импульсного напряжения, причем параметры импульсного напряжения должны обеспечивать лишь начальную стадию пробоа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пилов П.И.* Повышение качества магнетитовых концентратов путем их механической обработки // Горный журнал – 1999, № 6, С. 30-32.

2. *Кармазин В.В., Синельникова Н.Г., Логинова Л.А., Епутаев Г.А., Данилова М.Г.* Исследование стадийного процесса сепарации в сепараторе с магнитной системой, имеющей магниты разной высоты // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2007, № 9, С. 310-315.

3. *Чантурия В.А., Дмитриева Г.М., Трофимова Э.А.* Интенсификация обогащения железных руд сложного вещественного состава – М.: Наука, 1988. -206 с.

4. *Гончаров С.А., Ананьев П.П., Иванов В.Ю.* Разупрочнение горных пород под действием импульсных электромагнитных полей. – М.: МГТУ, 2006. – С. 41-47.

5. *Гончаров С.А., Ананьев П.П., Ермаков С.В.* Разупрочнение горных пород

в импульсных магнитных полях сложной пространственно-временной структуры // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ) - 2008, №6, С. 117-124.

6. *Малюшевский П.П.* Основы разрядно-импульсной технологии. - Киев: Наукова Думка, 1983. -272 с.

7. *Абрамов А.А.* Флотационные методы обогащения: Учебник для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательство МГТУ, «Горная книга», «Мир горной книги». – 2008, С. 25-33.

8. *Осипьян Ю.А.* Взаимодействие электронов с дислокациями в кристаллах // Вестник российской академии наук, том 76 – 2006, №10. С. 899-908.

9. *Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е.* Электрохимия сульфидов. Теория и практика флотации. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2008. – 272 с. **ГИАБ**

#### Коротко об авторах

*Липная Е.Н.* – аспирант каф. ОПИ, [katrinalmaz@rambler.ru](mailto:katrinalmaz@rambler.ru);

*Наумов К.И.* – кандидат технических наук, профессор каф. ФГПИП, [knaumov@mail.ru](mailto:knaumov@mail.ru);

*Юшина Т.И.* – кандидат технических наук, доцент каф. ОПИ; Московский государственный горный университет; Moscow State Mining University, Russia, [ud@msmu.ru](mailto:ud@msmu.ru)

*Ананьев П.П.* – кандидат технических наук, генеральный директор, научно-образовательный центр «Инновационные горные технологии», [cigt@mail.ru](mailto:cigt@mail.ru);

*Потапов С.А.* – кандидат технических наук, начальник ЦТЛ ОАО «Михайловский ГОК».