УДК 622.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПУЛЬПЕ ПРИ РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНОЙ АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Коростовенко В.В., Стрекалова Т.А., Стрекалова В.А., Коростовенко Л.П.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Институт цветных металлов и материаловедения, Красноярск, e-mail: root@gold.sfu-kras.ru

На основании исследований установлено время завершения основных волновых процессов при разрядноимпульсной активации минерального сырья. Изучено влияние плотности пульпы на амплитуду давления. Показано, что с увеличением плотности пульпы давление на фронте возрастает, что позволяет оптимизировать характеристики технологической среды (по плотности пульпы) и характеристики разрядноимпульсной обработки (по энергии разряда).

Ключевые слова: разрядноимпульсная активация, раскрытие, минеральное сырье, пульпа, ударная волна, плотность

## RESEARCH OF DYNAMIC PROCESSES IN THE PULP AT DISCHARGE IMPULSE ACTIVATION MINERAL RAW MATERIALS

Korostovenko V.V., Strekalova T.A., Strekalova V.A., Korostovenko L.P.

FGAOU VPO Siberian Federal University, Institute of Non-Ferrous Metals and Materials, Krasnoyarsk, e-mail: root@gold.sfu-kras.ru

On the basis of researches time of end of the basic wave processes is established at discharge impulse activation of mineral raw materials. Influence of density of a pulp on amplitude of pressure is studied. It is shown that with increase in density of a pulp pressure at the front increases that allows to optimize characteristics of the technological environment (on pulp density) and characteristics of discharge impulse processings (on energy of the category).

Keywords: discharge impulse activation, disclosing, mineral raw materials, a pulp, a shock wave, density

Одна из основных причин потерь ценных компонентов при обогащении минерального сырья заключается в недостаточно эффективном раскрытии минеральных ассоциаций, в большинстве случаев представленных сростками зерен соизмеримых размеров и другими более сложными формами срастания минералов. Анализ потерь полезных компонентов минерального сырья в процессах первичной переработки показывает, что 35-40% потерь связано со сростками и 30-35% - с тонкими частицами менее 40 мкм [1]. Для того, чтобы снизить потери при переработке тонковкрапленных руд без образования сростков и одновременно без излишнего переизмельчения, необходимо все большее внимание уделять разработке комбинированных схем и технологий, в том числе основанных на энергетических воздействиях, к числу которых относятся импульсные методы, одним из источников которых является высоковольтный электрический разряд в жидких полидисперсных средах [2]. Разрядноимпульсный метод может стать эффективным инструментом в разработке высокопроизводительной и экономичной технологии извлечения полезных компонентов из труднообогатимых руд на стадии вскрытия перед последующим гидрометаллургическим переделом.

Основная задача, решаемая при избирательном раскрытии минералов, — отделение кристаллов и зерен полезных компонентов

от породы без нарушения их целостности и с соблюдением заданной крупности. Интенсифицировать процессы обогащения можно путем создания контролируемых критических режимов, одним из которых можно считать импульсное воздействие на параметры рудоподготовки. Исследования свидетельствуют [3-5] о широких перспективах такого воздействия на минеральную пульпу, при котором появляется возможность эффективного использования параметров взрыва в жидких средах, в том числе высокого давления на фронте волны, резкого скачка температуры и плотности, пульсирующих гидропотоков, кавитации. Специфические для разрядноимпульсной обработки технологической среды процессы - волновые прежде всего, приводят к нарушению целостной структуры минеральных агрегатов, разрушают межмолекулярные и межатомные связи, что обусловливает образование трещин в обрабатываемых минеральных продуктах по плоскостям спайности рудных минералов с нерудными. Возможность этого основана на формировании в агрегате зон напряжений, а также высвобождение при импульсном разряде упругой энергии, накопленной сростками при механическом дроблении или измельчении.

Исследования процесса разрядноимпульсной активации минерального сырья проводили на лабораторной установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

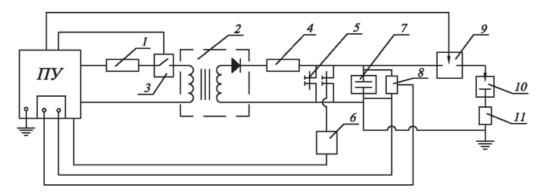


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки: ПУ – пульт управления; 1 – предохранитель; 2 – зарядный блок; 3 – концевой разъем; 4 –ограничивающее зарядное сопротивление; 5 – защитная электромагнитная блокировка; 6 – защитная механическая блокировка; 7 – блок импульсных конденсаторов; 8 – делитель напряжения; 9 – высоковольтный коммутатор; 10 – рабочий орган; 11 – коаксиальный шунт

Технологический узел представлял собой реактор цилиндрической формы объемом 2 дм<sup>3</sup>, изготовленный из титана; электроды применялись коаксиальной геометрии, в качестве материала электродов применялась сталь Ст-3. Раскрываемый рудный материал находился в водной среде. Данная установка позволила обеспечить энергию единичного импульса до 19,6 кДж/дм<sup>3</sup> при электрической мощности в канале разряда (1,79-62,6) 106 Вт. В условиях максимальных величин мощности и энергии суммарное давление расширяющегося фронта волны достигает а скорость  $8,31\cdot10^2 \,\mathrm{M\Pi a}$ сферической симметрии 1,8·10<sup>3</sup> м·с<sup>-1</sup>.

Динамические исследования ударных волн в многокомпонентных средах оценивались с помощью пьезокерамических датчиков [6] на основе титаната бария и фиксировались импульсным осциллографом.

Технологическим объектом являлась пульпа, компоненты которой включали твердые частицы, воду, газообразные со-

ставляющие. При действии в среде динамических нагрузок пульпа ведет себя как трехкомпонентная среда постоянного состава, т.е. содержание компонентов по массе не меняется.

Импульсный разряд в такой среде имеет ряд пульсаций, при которых по среде распространяются друг за другом несколько прямых и обратных волн напряжений, каждая из которых имеет собственные характеристики, численно установленные в процессе исследований.

На рис. 2 изображена типичная осциллограмма давления на фронте прямой и отраженной волн, выполненная на пробах пульпы Томторского месторождения при  $T: \mathcal{K} = 1:2$ , содержащей газообразную составляющую в количестве 3%. Измеренное давление на фронте прямой  $(P_1, P_2, P_3)$  и отраженной  $(P'_1, P'_2, P'_3)$  волн позволяет определить, что соотношение давлений P'/P = 0.65, что свидетельствует об активном участии волн растяжения в общей динамике разрушения твердой фазы.

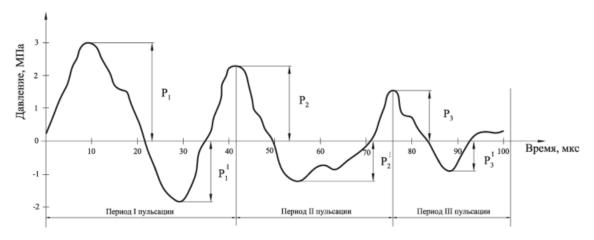


Рис. 2. Профили ударных волн ( $W = 9 \ \kappa Дж/дм^3$ )

Экспериментально выявлено, что волновые процессы имеют сферическую симметрию и завершаются через  $\approx 100$  мкс; далее наступает диссипация ударных волн.

Установлено, что качественное вскрытие минеральных сростков обеспечивается на стадии первой пульсации системы ударных волн, поэтому эффективное время разряда значительно сокращается, а основные волновые процессы завершаются через  $\approx 40$  мкс.

Особое внимание уделялось исследованию динамических процессов в водных дисперсиях минералов — условиям возникновения прямых и отраженных волн сжатия, длительности фаз сжатия и растяжения, временных интервалов следования ударных волн, оценке соотношения между давлением в прямой и отраженных волнах и их роли в процессах, сопровождающих импульсный разряд в многокомпонентных средах. Давление на фронте волны измеряли датчиками, которые размещали

в технологической среде симметрично относительно канала разряда на расстояниях от 70 до 180 мм. Рабочая поверхность датчиков ориентировалась в зависимости от поставленной задачи: для приема прямых волн — к центру канала разряда, для приема отраженных от жесткой преграды волн — к оболочке реактора.

Эксперименты по изучению влияния эффективного воздействия ударных волн на обрабатываемые объекты проводили в пульпе с различным содержанием твердого и при различных расстояниях пьезокерамических датчиков. Осциллограммы первой пульсации показывают (рис. 3), что с увеличением расстояния (R) от центра взрыва давление на фронте прямой и отраженной волн падает в многокомпонентных средах любой плотности. В общем случае установлены также количественные характеристики динамических параметров воздействия на минералы с различными механическими свойствами.

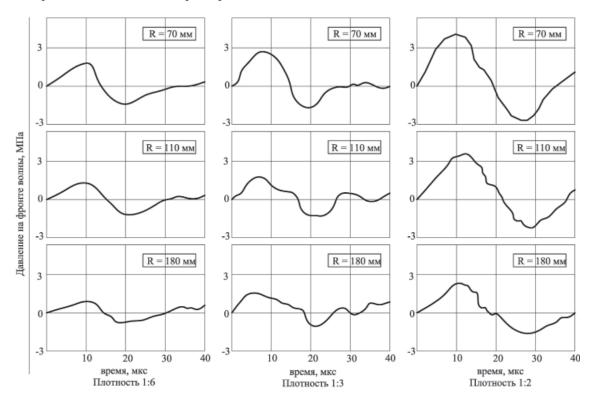


Рис. 3. Осциллограммы ударных волн первой пульсации

Установлено, что при увеличении содержания твердого в пульпе амплитуда давления в волне сжатия возрастает, также увеличивается время действия ударной волны в плотной пульпе, что позволяет оптимизировать характеристики разрядноимпульсной обработки рассматриваемых проб.

Максимальное давление на фронте ударной волны сжатия зависит от энергии, вводимой в канал разряда. Как видно из рис. 4 максимум давления первого пика  $(P_{_{\rm M1}})$  нелинейно возрастает с увеличением энергии разряда, а величина максимума давления второго пика  $(P_{_{\rm M2}})$  стабилизируется при

энергиях более 10 кДж.В технологических целях, в частности для диспергирования, необходимо увеличить  $P_{M2}$  за счет увеличения емкости разрядных конденсаторов, что в итоге качественно меняет характер волновых процессов в технологической среде. Прямая волна сжатия вызывает появление в частице трещины, а сама частица приобретает сложное напряженное состояние; по-

вторная волна и система отраженных волн высвобождают упругую энергию материала частиц и приводят к ее более качественному разрушению зачастую без необходимости повторения разрядного процесса. Необоснованное увеличение количества разрядов может привести к переизмельчению и ошламованию твердой фазы, что нашло подтверждение в наших исследованиях.

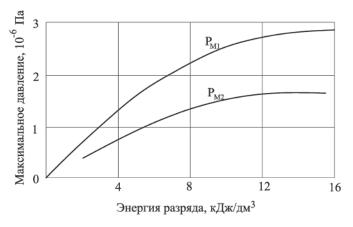


Рис. 4. Влияние энергии разряда на максимальное давление на фронте прямой  $(P_{_{M}})$  и отраженной  $(P_{_{M}})$  волн

Таким образом, в раскрытии минеральных сростков активное участие принимают как волны сжатия так и волны растяжения. Давление на фронте волны в фазе растяжения достигает 0,65 от давления на фронте волны в фазе сжатия. Динамика волновых процессов, вызванных разрядноимпульсным воздействием на пульпу, в фазе сжатия определяется энергетическими параметрами, а на фронте волны растяжения зависит от параметров технологической среды (прежде всего, плотности). Результаты выполненных исследований по разрядноимпульсной интенсификации рудоподготовки позволили установить взаимосвязь энергии импульса в разряде с характеристиками измельчаемого териала и свойствами трехкомпонентной среды, к которой относится и минеральная пульпа.

## Список литературы

- Чантурия В.А. Проблемы и концепция развития первичной переработки минерального сырья / В.А. Чантурия, А.А. Лавриенко // Обогащение руд. – 2004. – №2. – С. 3–8.
- 2. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. Киев: Наук. думка, 1990. 208 с.
- 3. Каляцкий И.И. Влияние электроимпульсного способа измельчения на технологические свойства руд / И.И. Каляцкий, В.И. Курец, Г.Л. Лобанова // Обогащение руд. 1987. № 4. С. 2–5.
- 4. Коростовенко В.В. Исследование возможности использования взрывоимпульсных воздействий для направленного изменения технологических свойств руды / В.В. Коростовенко, И.И. Шепелев, А.Г. Степанов: Отчет по НИР, КМЦМ. -1986.-124 с.
- 5. Усов А.Ф. Исследования в области разработки электроимпульсных технологий // Проблемы энергетики запада Европейского Севера России. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. С. 70–86.
- 6. Безкаравайный, Н.М. Некоторые вопросы измерения параметров ударной волны пьезокерамическим датчиком сферической формы / Н.М. Безкаравайный, В.А. Поздеев / Теория и практика электрогидравлического эффекта. Киев: Наук. Думка, 1978. С. 69–79.