© В.И. Курец, А.Ф. Усов,
В.А. Цукерман, 2008

УДК 622. 026.01

В.И. Курец, А.Ф. Усов, В.А. Цукерман

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РУД КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведены результаты экспериментальных работ по использованию электроимпульсной дезинтеграции габбро-норита с платинометалльным оруденением Кольского полуострова.

Семинар № 3

Извлечение самородных драгоценных металлов (золота, платины) из руд коренных месторождений требует их измельчения, которое приводит к размазыванию пластичных металлов по поверхности частиц измельченного материала. Это существенно ограничивает возможность использования более дешевого гравитационного обогащения для выделения металла и вынуждает использовать более дорогое и экологически опасное химическое обогащение.

Российскими учеными предложен и всесторонне исследован электроимпульсный способ дезинтеграции руд и материалов [1-2]. Электроимпульсная способ дезинтеграция отличается высокой селективностью разрушения, обеспечивает лучшее раскрытие зерен отдельных минералов и лучшую их сохранность от разрушения, меньшее образование шламистого продукта. Все это создает предпосылки для более полного извлечения полезного минерала в концентрат при обогащении руды, повышения качества концентрата. Отсутствует свойственное механическим способам загрязнение продукта аппаратурным металлом, материалом футеровки и мелющих тел. Возможность способа просто и в широких пределах изменять характер динамического нагружения позволяет регулировать гранулометрический состав продукта измельчения, получать более узкий класс крупности продукта, чем это возможно при механическом измельчении. Продукту электроимпульсного измельчения свойственна меньшая окатанность и большая удельная поверхность зерен за счет того, что новая поверхность образуется в процессе раскола при распространении трещин. Продукт разрушения обладает повышенной сорбцией и реакционной способностью в химических реакциях. Вскрытые частицы минеральных включений лучше соответствуют их исходному природному состоянию в породе и это имеет большое значение для изучения минерального сырья [3].

Имеются технологические предпосылки, чтобы использовать электроимпульсный способ дезинтеграции в технологии добычи драгоценных металлов. Экспериментальные работы на рудах, содержащих драгоценные металлы, ставили целью изучить характер дезинтеграции материала и выделения металлов. На основе представительных данных о разрушении других металлических и полиметаллических руд ожида-

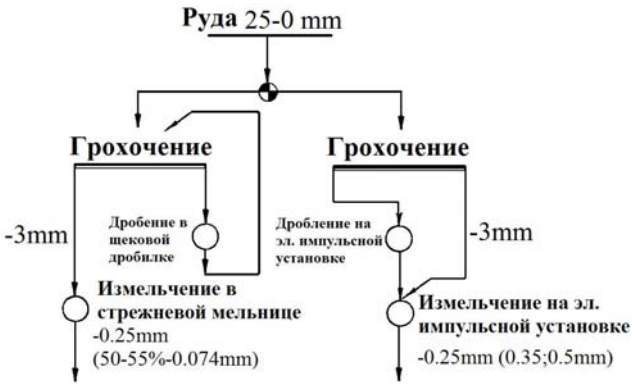

Рис. 1. Принципиальная схема проведения сравнительных испытаний

лось, что применительно к данному виду минерального сырья будут эффективно использованы следующие особенности ЭИ-дезинтеграции:

- способ электроимпульсной дезинтеграции металлических руд за счет эффекта избирательного электрического пробоя по металлическим включениям обеспечивает высокую селективность разрушения руды с высокой степенью раскрытия включений металла и его сохранностью от размазывания по поверхности частиц вмещающей породы

- раскрытие включений металла происходит на более ранних стадиях измельчения руды, что снижает затраты на измельчение, а главное, позволяет использовать для выделения металла гравитационный способ обогащения

Выполненное опробование ЭИ-дезинтеграции габбро-норита с платинометалльным оруденением Кольского полуострова показало ее высокую эффективность. Дезинтеграция проходит, главным образом, по границам минеральных зерен, поэтому минеральные индивиды, в том числе сложной формы, максимально высвобождаются от сопутствующих мине

ралов, достигается высокая степень раскрытия сростков; сохраняется высокий процент зерен, обладающих "первичной" морфологией с минимальным переизмельчением; остается ненарушенной "скульптура" граней кристаллов. Зерна ценных минералов (сульфиды цветных и черных металлов, платиноиды, золото), как правило, характеризуются достаточно узким интервалом размеров. Раскрытие зерен минералов без разрушения, ошламования и размазывания отличающихся особой пластичностью минералов по зернам пустой породы приводит к обогащению полезными компонентами определенных узких фракций продукта, создавая в том числе и возможность обогащать продукт операцией выделения определенного класса крупности продукта. Использование ЭИ открывает путь разработки оптимальной технологической схемы обогащения руд при ожидаемом в ближайшее время освоения месторождения на Кольском полуострове.

Закономерности измельчения золотосодержащих руд выполнены на примере полиметаллической руды Лениногорского месторождения (Казахстан) с тонкой вкрапленностью металла. Целью работы было сравнение электроимпульсного измельчения с традиционными методами, применяемыми при обогащении данных руд. Сопоставлялось распределение металлов (золота и серебра) по классам крупности. Схема испытаний представлена на рис. 1.

Руда крупностью 25-0 мм отобрана с транспортера питания мельниц. Для традиционной технологии дезинтеграции руда дробилась в щековой дробилке

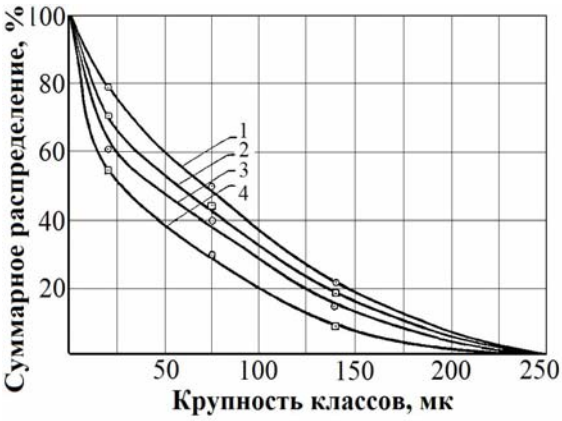

Рис. 2. Характеристики распределения золота и серебра по классам крупности при различных способах измельчения: 1 - распределение золота в электроимпульсной установке (3.9%), 2 – распределение серебра в электроимпульсной установке (5.4%), 3 – распределение золота в стержневой мельнице(8.0%), 4 – распределение серебра в стержневой мельнице(12,5%). В скобках дано соответственно содержание шлама в классе -10 мк

150x80 до крупности - 3 мм, затем измельчалась в стержневой лабораторной мельнице периодического действия до крупности -250 мкм.

Для электроимпульсной технологии руда сначала измельчалась до – 2 мм на сите, а затем доизмельчалась до -250 мкм в камерах с выносом продукта восходящим потоком жидкости.

Данные по распределению по классам крупности золота и серебра, представленные на рис. 2.

В сравнении с традиционными способами электроимпульсная дезинтеграция существенно снижает выход тонких классов, а вскрытый металл не переизмельчается и концентрируется в более высоком классе крупности, соответствующем исходной крупности включений. Этим создается возможность использования более прогрессивного гравитационного способа обогащения. Поскольку часто крупность зерен полезных ископаемых находится в достаточно узком интервале размеров, их раскрытие без разрушения создает дополнительную возможность поднять эффективность обогащения таких типов руд предварительным распределением по крупности с выделение узкой фракции продукта.

Технологическая эффективность использования электроимпульсного способа дезинтеграции в технологии извлечения драгоценных металлов из руд коренных месторождений для включений крупность выше 100-200 мкм не вызывает сомнений и проблема практической реализации является технико-экономической, определяемой так называемым «ресурсным конденсаторным критерием» {4]. Стоимостная составляющая расхода конденсаторов составляет значительную, а в некоторых случаях и основную часть эксплуатационных затрат. В первом приближении для целей ЭИ-технологий критерий экономической целесообразности может быть определен следующим показателем: измельчение рядовых руд и материалов оправдывается при ресурсе работы конденсаторов порядка 10^9 циклов «заряд-разряд», селективное измельчение и разупрочнение крупновкрапленных руд повышенной стоимости - при ресурсе в 10^8 циклов, измельчение в специальных целях с ограниченным объемом и производительностью (геологические пробы, специальные материалы) - при ресурсе 10^7 циклов. При современном уровне развития электротехники и импульсной техники [5] уже можно говорить о целесообразности разработки месторождений малой мощности с богатой

рудой (15-20 г/т) и гравитационной крупностью включений металла с использованием модульных установок. Для перехода к более бедным рудам требуется более совершенное и производительное электротехническое оборудование (прежде всего конденсаторы), чтобы перерабатывать большие объемы руды.

Извлечение тонкой вкрапленности полезных минералов требует иного подхода к процессу дезинтеграции. Следует иметь ввиду, что электроимпульсный способ разрушения, реализуемый в условиях внедрения канала пробоя в частицы твердого тела, существует как таковой, пока размеры частиц выше 1-2 мм. При меньшей крупности частиц вообще становится принципиально невозможным реализовать процесс электрического пробоя внутри частицы. Смена механизма электроимпульсного воздействия на электрогидроимпульсный (каналом разряда вне частицы, в жидкой среде) приводит к резкому, почти на порядок, повышению энергоемкости процесса. Процесс электрогидроимпульсного (электрогидравлического) измельчения материалов достаточно хорошо изучен и с энергетической точки зрения он не имеет никаких перспектив быть альтернативным механическим способам измельчения. Однако проблема энергоемкости не является тупиковой для использования эффектов электрофизического воздействия на материалы в процессах переработки минерального сырья [6]. В этом отношении имеют хорошие перспективы различные варианты электроразрядного разупрочнения материала [7-9]. В этих процессах ставится задача не собственно измельчения, а лишь избирательного разупрочнения структуры материала. В одних случаях технологический эффект реализуется на последующей стадии переработки минерального сырья, например, в гидрометаллургическом процессе извлечения полезных компонентов, в других - это является подготовительным процессом для последующего механического доизмельчения материала, эффективность которого резко улучшается. Будущая технология обогащения руд драгоценных металлов коренных месторождений нам представляется комплексной, использующей положительные свойства нескольких методов дезинтеграции, – высокую производительность дробления механическим способом, высокую селективность раскрытия руд электроимпульсным способом на стадии измельчения до гравитационной крупности и высокую эффективность вскрытия тонкой вкрапленности электроразупрочняющим воздействием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основы* электроимпульсной дезинтеграции и перспективы ее применения в промышленности / Каляцкий И.И., Курец В.И., Цукерман В.А., Финкельштейн Г.А. // Обогащение руд, 1980, №1, с. 6-11.
2. *Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А.* Электроимпульсная дезинтеграция материалов. - Апатиты: КНЦ РАН, 2002, 324 с.
3. *Usov A., Tsukerman V.* Prospective of electric impulse processes for the study of the structure and processing of mineral raw materials. - Proceedings of the XXI International Mineral Processing Congress – Elsevier, 2000, pp. C2.8-15.
4. *Усов А.Ф.* Перспективы технологий электроимпульсного разрушения горных пород и руд - Известия РАН, Энергетика, №1, 2001, с.54-62
5. *Усов А.Ф., В.С.Гладков.* Вопросы электротехнического обеспечения технологий электроимпульсного разрушения материалов источниками высоковольтных импульсов // Вестник НТУ "ХПИ", г. Харьков, - в. 35, 2004, - С.143-154.

6. *Усов А.Ф., Цукерман В.А.* Энергетические аспекты электроимпульсной дезинтеграции для раскрытия тонкой вкрапленности /VI Конгресс обогатителей стран СНГ, 28-30 марта 2007 г. Сборник материалов, том 1. – М.: Альтекс, 2007. – С. 235-236.

7. *Усов.А.Ф., Ракаев А.И.* Электроимпульсное дробление и разупрочнение руд и материалов // Обогащение руд. 1989. № 4. С. 42-43.

8. *Комплексная* переработка пиритовых отходов горно-обогатительных комбинатов наносекундными импульсными воздействиями / Ю.А.Котов, Г.А.Месяц, А.Л.Филатов и др. // ДАН, 2000, 372, №5, с.654-656).

9. *Вскрытие* упорных золотосодержащих руд при воздействии мощных электромагнитных импульсов / В.А. Чантурия, Ю.В. Гуляев, В.Д. Лунин и др. // ДАН, 1999, 366, №5, с. 680-683. ГИАБ

Коротко об авторах

Курец В.И. – начальник отдела НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета, доктор технических наук?

Усов А.Ф. –начальник научно-организационного отдела Кольского научного центра РАН, кандидат технических наук?

Цукерман В.А.– заведующий отделом промышленной и инновационной политики Института экономических проблем Кольского научного центра РАН, кандидат технических наук.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 3 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. *С.А. Гончаров.*

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. Г.В. ПЛЕХАНОВА			
МИРОНЕНКОВА Наталья Александровна	Обоснование рациональных схем вентиляции при эксплуатации железнодорожных тоннелей в радоноопасных районах России с суровым климатом	05.26.01	к.т.н.