

УДК 622.026.01

*А.Ф. Усов, В.А. Цукерман., В.В. Бородулин,
Ю.М. Приютов*

***ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНЫЙ
ДЕЗИНТЕГРАТОР КЛЭИД – ЭФФЕКТИВНЫЙ
ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ***

Семинар № 4

В научной практике изучения минерального сырья и продуктов химического синтеза важнейшее значение имеют такие качества измельчения, как селективность, сохранность природной формы кристаллов, отсутствие загрязнения продукта измельчения материалом мелющих тел. От этих свойств дезинтеграции зависит достоверность интерпретации геологической информации и качество прогноза технологических свойств материалов в процессах их переработки и использования.

Достижения современной физики привели к созданию новых производительных и энергетически эффективных способов и средств разрушения материалов, приспособленных к определенным видам и различной исходной крупности материала (вибрационный, магнитоимпульсный и др.). В меньшей степени удалось добиться повышения селективности дробления материалов и создания универсальных аппаратов (лабораторного оборудования), одинаково эффективно работающего в широком диапазоне исходной и конечной крупности материалов.

Российские ученые имеют мировой приоритет в разработке принципиально нового способа разрушения материалов - электроимпульсного способа разруше-

ния твердых непроводящих тел, отличающегося высокой энергетической эффективностью и высокой селективностью разрушения полиминеральных сред [1, 2]. Электроимпульсная дезинтеграция твердых тел (горных пород, руд, диэлектрических материалов и продуктов переработки минерального сырья) осуществляется каналом разряда в результате импульсного электрического пробоя фрагментов материала. Процесс внедрения разряда в толщу фрагмента материала реализуется лишь при определенных параметрах импульсного напряжения (амплитуда и фронт импульса), при которых в результате инверсии соотношения электрических прочностей твердых диэлектриков и жидких сред при сокращении экспозиции напряжения электрическая прочность горных пород становится ниже прочности внешней среды (рис. 1). Среда, окружающая разрушаемый материал с токоподводящими электродами, прежде всего, выполняет в процессе роль агента, способствующего электрическому пробоя твердого тела, и уже во вторую очередь обеспечивает технологическую функцию удаления продукта разрушения из зоны реализации процесса. Чаще всего это жидкость (лучше диэлектрическая), но это также может быть электрически прочный газ, паровоздушная смесь под

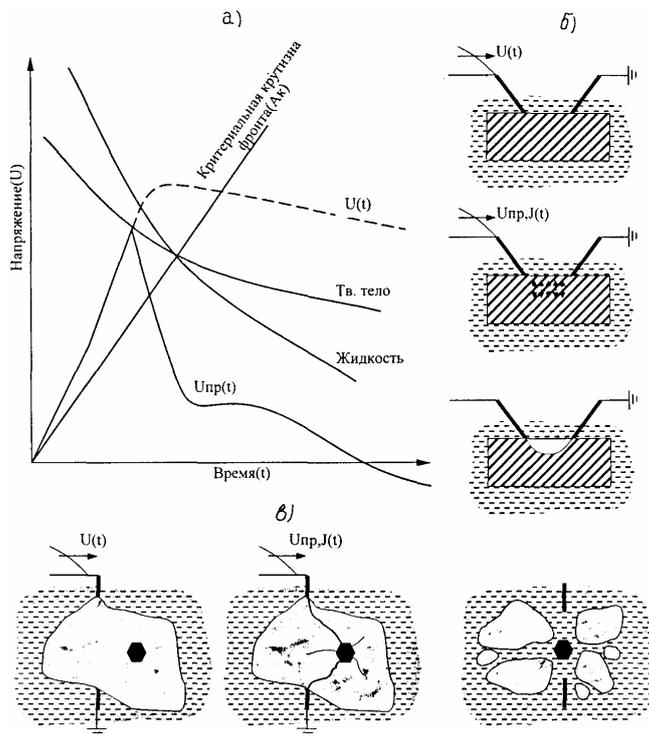


Рис. 1. Принцип электроимпульсного разрушения: а) сопоставление вольт-секундных характеристик различных сред, б) последовательность процессов пробоя и разрушения в системе с одной свободной поверхностью, в) последовательность процессов пробоя и разрушения фрагментов материала

позволяет отделять порции материала от массива или крупного блока (рис. 1, б), разрушать отдельные куски материала (рис. 1, в).

Важнейшей особенностью электроимпульсного измельчения руд является высокая селективность разрушения, обеспечивающая высокую степень раскрытия зерен полезных минералов с меньшим их разрушением. Всесторонне исследованы механизмы и показатели селективности электроимпульсной дезинтеграции [3, 4].

давлением. Градиенты пробивных напряжений при электроимпульсном разрушении составляют 100-200 кВ/см, а длительность нарастания напряжения до максимума, зависящая от вида внешней среды, должна быть не выше 10^{-6} с для пробоя в диэлектрической жидкости и не выше $(1-2) \cdot 10^{-7}$ с при пробое в технической воде.

Энергия, выделяющаяся в канале разряда, действует на материал подобно взрывчатому веществу и приводит к его разрушению в процессе прорастания трещин, инициированных и подпитываемых полем механических напряжений, создаваемым расширяющимся каналом разряда. При достаточном количестве энергии и оптимальном характере ее выделения в канале разряда объем разрушения имеет значимую для технологического применения величину - от единиц до первых десятков см^3 . Способ

селективности электроимпульсной дезинтеграции [3, 4]. В металлических рудах и рудах с полезным минералом, существенно отличающемся от вмещающей породы по диэлектрической проницаемости, эффект селективности в значительной степени обусловлен избирательной направленностью канала разряда на включения полезных минералов, искажающих электрическое поле в межэлектродном промежутке. Для руд с компонентами, отличающимися по электрической прочности, эффект селективности обусловлен избирательным электрическим пробоем по электрически менее прочной компоненте. Различие минералов по деформационным и акустическим свойствам является причиной разупрочнения зерен минералов по границам их контакта друг с другом или с вмещающей породой, происходящего вследствие воздействия на систему ге-

нерируемой разрядом высокоинтенсивной волны давления. В технологии обогащения и переработки минерального сырья это способствует полноте извлечения полезных минералов, комплексному использованию минерального сырья, созданию экологически чистых производств с полной утилизацией компонентов минерального сырья и побочных продуктов его переработки. Раскрытие зерен минералов на более ранних стадиях измельчения позволяет упростить рудоподготовку, снизить энергетические затраты на измельчение.

Электроимпульсный способ дезинтеграции материалов имеет значимые физические предпосылки для эффективного управления гранулометрическим составом продукта измельчения [5], обусловленные возможностью регулирования в широком диапазоне характера динамического воздействия факторов разряда на материал. Последнее достигается регулированием количества и скорости выделения энергии в канале разряда, осуществляемым достаточно простыми электротехническими приемами - изменением параметров схемы генератора импульсов.

Так как рабочим инструментом при электроимпульсном разрушении является искра, при измельчении высокоабразивных и особо чистых материалов отсутствует свойственное механическим способам измельчения материалов загрязнение продукта измельчения аппаратным металлом и материалом мелющих тел, обеспечивается высокая чистота продукта. Продукт электроим-

пульсного измельчения обладает повышенной удельной поверхностью и реакционной способностью зерен за счет особенности разрушения материала с образованием новой поверхности сколом, что обеспечивает улучшение его технологических свойств.

В ходе многолетних исследований электроимпульсного способа дезинтеграции материалов в КНЦ РАН, НИИВН, институте "Механобр" и в ряде других учреждений были созданы исследовательские стенды и технологические установки для опытно-промышленных испытаний и работы в производственных условиях, в том числе специализированная электроимпульсная установка для дезинтеграции геологических проб ДИК (разработка НИИ ВН, г. Томск и института «Механобр», г. С.-Петербург) [6].

При создании установки для избирательного измельчения геологических проб (рис. 2), предназначенной для оснащения геологических управлений и институтов отрасли, основными требованиями к установке являлись: сокращение числа стадий дезинтеграций по сравнению с традиционными схемами переработки проб, повышенная избирательность процесса с целью возможности получения мономинеральных фракций, отсутст-

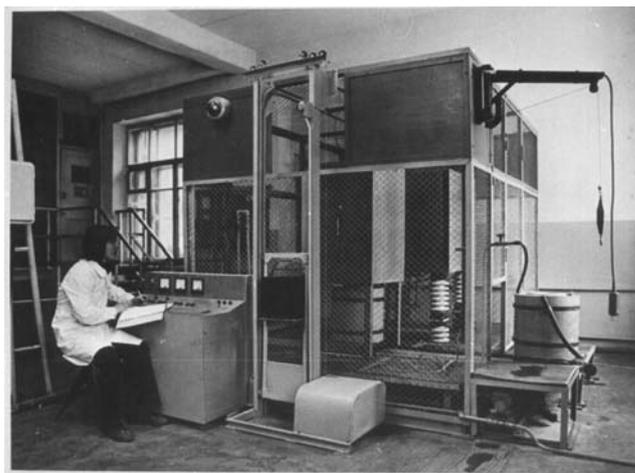


Рис. 2. Дробильно-измельчительный комплекс для избирательной дезинтеграции геологических проб

вие взаимного заражения проб, потерь при обработке и удобство обслуживания.

Установка ДИК-1 обеспечивает дезинтеграцию материала от 60 мм до 2 мм с производительностью 100 кг/час и до -1 мм с производительностью 50 кг/час с учетом промежуточных операций. Испытания и эксплуатация подтвердили высокую эффективность установки ДИК-1, повышенную избирательность разрушения с сохранением в основном природной формы кристаллов. Установка ДИК-1 успешно прошла приемочные испытания и рекомендована для использования в организациях Мингео РФ как установка для дезинтеграции геологических проб. Более 10 установок поставлено в геологоразведочные производственные и научные организации России и СНГ, а также в ФРГ, Францию, Великобританию.

Существенный недостаток установки ДИК, сдерживающий его широкое использование в промышленности, связан с пока еще достаточно низкими удельными энергогабаритными характеристиками - установка имеет объем 60 м³ и вес порядка 3 т.

Последние достижения в электронной и высоковольтной импульсной технике (высокочастотные схемы преобразования напряжения, импульсные трансформаторы, импульсные конденсаторы повышенного ресурса работы) позволяют резко сократить размеры элементов электротехнического обеспечения, существенно повысить надежность работы установок и за счет этого совершить технический прорыв в производственном использовании ЭИ-технологий. Современная элементная база открывает перспективы создания и широкого освоения ЭИ-технологий в спецприменениях с ограниченной производительностью. Для этого

требуется адаптация для целей электроимпульсных технологий технических разработок из смежных направлений электрофизики, электронной и высоковольтной импульсной техники.

Эти возможности реализуются в электроимпульсном дезинтеграторе КЛЭИД – эффективном инструменте для изучения минерального сырья (рис. 3) [7]. Проектом создания установки КЛЭИД ставится задача существенно уменьшить габариты в сравнении с указанным прототипом, и сделать ее более универсальной, рассчитанной на широкий диапазон измельчения материалов.

КЛЭИД - самостоятельный класс



Рис. 3. Электроимпульсный дезинтегратор КЛЭИД (макетный рисунок)

компактных лабораторных электроимпульсных дезинтеграционных установок ограниченной (килограммы в час), но достаточной для многих целей широко практического применения производительности. За счет набора дезинтеграционных камер различного типа и вариации энергетических режимов, обеспечивается широкий диапазон измельчения материалов – от 300-350 мм до долей миллиметра в режиме электроимпульсного разрушения и далее до микрон с переходом в режим электрогидроимпульсного разрушения, а также электроразрядное разупрочнение материала.

Локализация зоны воздействия на материал каналом разряда в ограниченном объеме межэлектродного промежутка предоставляет многовариантную возможность организации процесса разрушения и удаления продукта в камере. При многоэлектродном исполнении рабочей камеры становится возможным влиять на энергетические показатели процесса и гранулометрический состав продукта измельчения соответствующим размещением разрядных промежутков относительно друг друга и классифицирующих промежутков, путем соответствующего соотношения частоты посылок импульсов с классифицирующей способностью устройства. Этим обеспечивается высокая универсальность электроимпульсного разрушения, позволяющая достигать в одном аппарате исключительно высокой степени измельчения материала.

Процессы электроимпульсной дезинтеграции и электрогидроимпульсного измельчения реализуется при уровне импульсного напряжения порядка 200-300 кВ и энергии в несколько сотен джоулей. Существенно более высокий в сравнении с традиционным ЭГИ-измельчением уровень напряжение и соответственно

уменьшенное значение разрядной емкости обеспечивает быстрое выделение энергии в разрядном контуре, гарантируя тем самым высокую энергетическую эффективность процесса.

Аппаратурное оформление КЛЭИД позволит их использовать в условиях обычных, электротехнически неспециализированных лабораторий.

Разработка установки предусмотрена начатым в 2005 г. проектом по программе СТАРТ05 Фонда содействия малому предпринимательству в научнотехнической сфере (исполнитель ООО «Импульс Хай Тек»)

Разрабатываемая установка будет иметь несколько модификаций:

Базовый вариант КЛЭИД-Б предназначен для научных и научно-производственных организаций минерально-сырьевого и химико-технологического профиля, связанных с изучением минерального сырья.

Установка обеспечит широкий спектр исходной и конечной крупности продукта от 300 мм до долей микрона. Продукт электроимпульсного измельчения лучше передает минералогические и петрографические особенности породы и поэтому достоверность интерпретации геологической информации и прогноза технологических свойств руды с использованием установки будет выше. Применительно к задачам геохронологии особое значение будет иметь возможность эффективного выделения зерен акцессорных минералов (циркон, бадделеит), сохранности их природной формы (для исследования зонального распределения) и чистоты. За счет этого может быть обеспечена более высокая точность и воспроизводимость анализов, более точная привязка данных к изучаемым объектам. Предлагаемая установка КЛЭИД частично займет нишу специализированной установки ДИК для дробления геологических проб в области до -2 мм.

Установка КЛЭИД-УИ, обеспеченная комплексом измерительной аппаратуры и исследовательских приспособлений, предлагается для использования в учебных и исследовательских целях по электрофизическим применениям электрических разрядов.

Установка КЛЭИД-Т со специфическим набором дезинтеграционных камер и обогащительного оборудования может использоваться в технологических целях ограниченной производительности, например, для технологического опробования минерального

сырья, выделения мономинеральных фракций в производстве многоцветной каменной крошки для художественных работ, для обработки промпродукта и утилизации отходов в производстве материалов электронной техники и др.

Дальнейшее совершенствование установок в сторону повышения их мощности последовательно вовлечет в производственное использование многочисленные другие технологические направления способа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. - Апатиты: КНЦ РАН, 1995, 276 с.

2. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. - Апатиты: КНЦ РАН, 2002, 324 с.

3. 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.

4. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Селективность электроимпульсной дезинтеграции руд. - Материалы V конгресса обога-

телей стран СНГ, 23-25 марта 2005 г., том 3, с. 292-296

5. Цукерман В.А., Курец В.И., Усов А.Ф. Гранулометрия электроимпульсной дезинтеграции материалов.- Материалы V конгресса обогащителей стран СНГ, 23-25 марта 2005 г., том 3, с. 289-292.

6. Электроимпульсный дробильно-измельчительный комплекс ДИК-1М: Проспект ВДНХ СССР, М., 1986.

7. Процессы и технологии на основе электроимпульсного способа разрушения материалов / Усов А.Ф., Ефимов Б.В., Цукерман В.А. и др. // Инновационный потенциал Кольской науки. - Апатиты: КНЦ ПРАН, 2005, с. 306-312/ **ГИАБ**

Коротко об авторах

Усов А.Ф. – кандидат технических наук, начальник научно-организационного отдела,
Цукерман В.А. – кандидат технических наук, заведующий отделом промышленной и инновационной политики Института экономических проблем,
Бородулин В.В. – аспирант,
Приотов Ю.М. – начальник цеха,
Кольский научный центр РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 4 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. С.А. Гончаров.