УДК 622.765, 621.385.6, 533.1

В.А.ЧАНТУРИЯ, И.Ж.БУНИН
Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва

ВЫСОКОИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ВСКРЫТИЯ УПОРНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ

Показаны возможности высокоимпульсной обработки тонковкрапленных минеральных комплексов, позволяющей при обогащении упорных золотосодержащих руд и продуктов обогащения получить стабильный прирост извлечения ценных компонентов (золота на 30-80 %, серебра – на 20-50 %) при уменьшении энергозатрат и снижении себестоимости готовой продукции. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований механизмов нетеплового воздействия мощных электромагнитных импульсов с короткими (наносекундными) фронтом и длительностью при напряженности электрической компоненты поля порядка 10^7 В/м на природные минеральные среды сложного вещественного состава.

Opportunities of high-energy pulse treatment, which, when in the processing of resistant gold-containing ores and beneficiation products, provides for stable gain in valuable components recovery (a 30-80 % gain for gold and 20-50 % for silver), therewith helping reduce energy consumption and cost of products, are shown. Results of theoretical and experimental studies of plausible mechanisms of non-thermal action of high-power electromagnetic pulses with short (nanosecond) leading edge and pulse duration and high electric field strength of about 10^7 V/m on complex natural mineral media are presented.

В последние годы в России и за рубежом проводится широкий комплекс исследований по разработке нетрадиционных высокоэффективных экологически безопасных методов дезинтеграции и вскрытия упорных золотосодержащих руд на основе использования энергетических воздействий (электрохимическое окисление, поток ускоренных электронов, СВЧ-нагрев, резонансное разрушение гиперударными волнами, электроимпульсное и электрогидродинамическое воздействие, магнитно-импульсная обработка и др.).

Коллективом ученых Института проблем комплексного освоения недр (ИПКОН) РАН совместно с рядом других организаций разработан экологически безопасный, высокоэффективный метод вскрытия упорных золотосодержащих руд и продуктов их переработки на основе использования нетеплового воздействия мощными электромагнитными наносекундными импульсами (МЭМИ), позволяющий за счет создания каналов пробоя в сульфидных минералах и образования множественных микротрещин при импульсном локальном нагреве достигать максимального уровня дезинтеграции тонковкрапленных минеральных комплексов при снижении энергозатрат в 2-3 раза, повышении извлечения благородных металлов на 15-30 % и снижении себестоимости продукции в 1,5-2 раза.

Для описания взаимодействия МЭМИ с тонковкрапленными частицами благородных металлов подходит механизм поглощения электромагнитной энергии тонкими металлическими пленками, так как размер частиц мал (0,01-0,1 мкм) и может быть много меньшим как характерной длины волны импульса излучения, так и толщины соответствующего скин-слоя. Теоретический анализ простейшей одномерной модели, в которой электромагнитный импульс падает на плоский металлический слой произвольной толщины, заключенный в диэлектрическую среду, позволяет утверждать следующее.

При взаимодействии мощного электромагнитного излучения с частицами благородных металлов, содержащихся в упорных рудах, возможно эффективное нетепловое поглощение электромагнитной энергии частицами металлов, которое при большой мощности может привести к быстрому выделению энергии и изменению структуры вмещающего минерала. При этом возможно увеличение напряженности поля внутри образцов породы и появление микропробоев между частицами металлов с образованием микротрещин, способствующих дезинтеграции минеральных комплексов.

Для реализации данного метода в промышленности в ИПКОН РАН разработана установка производительностью 50-100 кг обрабатываемой руды в час при конвейерном способе подаче руды в зону электроимпульсной обработки. Эффективность процессов дезинтеграции минеральных комплексов и вскрытия частиц благородных металлов контролируется развитием в межэлектродном промежутке разряда стриммерного типа за счет соответствующего подбора амплитуды, длительности и формы импульсов. Необходимая «доза» электромагнитного импульсного воздействия в расчете на заданную массу обрабатываемого минерального сырья набирается изменением скорости движения ленты транспортера и частоты следования импульсов от формирователя импульсов. Поток материала, выровненный по толщине и ограниченный по ширине, подается транспортером в блок высокоэнергетической обработки наносекундными высоковольтными импульсами со следующими параметрами: амплитуда напряжения импульса в пределах от 20 до 40 кВ, длительность импульса 10-20 нс, частота следования импульсов 100-1000 Гц, при этом потребляемая мощность установки не превышает 3 кВт. Таким образом, задавая с пульта управления необходимые электрофизические параметры электроимпульсного воздействия, можно достигнуть требуемого технологического эффекта и обеспечить заданную производительность установки в зависимости от вида обрабатываемого сырья.

Использование высокоимпульсных воздействий в технологии обогащения упорных золотосодержащих руд и продуктов обогащения привлекает возможностью обеспечения максимальной полноты вскрытия минеральных комплексов и получения прироста извлечения ценных компонентов (золота на 30-80 %, серебра – на 20-50 %) при уменьшении энергозатрат и снижении себестоимости готовой продукции. Исследования проводились на широком круге материалов, включающем образцы упорных руд, продуктов обогащения (гравитационных и флотационных концентратов), а также лежалых хвостов обогатительных фабрик.

Методика проведения эксперимента включала в себя предварительную обработку минеральных частиц различных классов крупности серией МЭМИ с последующим цианированием для извлечения благородных металлов. В экспериментах использовались как сухие образцы, так и образцы, увлажненные водой не более, чем необходимо для заполнения пор в частицах материала, а именно до достижения соотношения твердого к жидкому Т:Ж = (5-10):1. Количество импульсов и параметры воздействия, а именно длительность и форму импульса, варьировали в зависимости от условий опыта. Регулировкой расстояния между электродами и их изоляцией устанавливали оптимальное значение амплитуды напряженности электрической компоненты электромагнитного поля (в пределах от 5 до 50 МВ/м) так, чтобы амплитуда напряженности превосходила электрическую прочность материала.

Проведенные технологические эксперименты (см. таблицу) подтвердили теоретические выводы о том, что максимальное раскрытие золотосодержащих продуктов при воздействии МЭМИ следует ожидать для сульфидов крупностью не менее 100 мкм, причем эффект создания каналов пробоя и селективной дезинтеграции воз-

Месторождение; содержание золота, г/т	Массовая доля основных минералов (основных компонентов), %	Класс крупности, мкм	Прирост извлечения золота (от – до), %
	ИСХОДНАЯ РУДА		
Кючус, 24,2	Сланцы – 43,6; полевые шпаты – 30,8; кварц – 17; лимонит – 3,1; антимонит – 2,6; арсенопирит – 2,3	–1000	12,11 (66,67-78,78)
Невское, 1,3-1,8	Серицит – 44; кварц – 39; карбонаты, полевые шпаты – 10-12; сульфиды – 5-6; $S_{общ}$ 2,07; $S_{сульф}$ 1,72; $C_{орг}$ 3,8	–500	4,4 (91,2-95,6)
Олимпиадинское, 2,4	SiO_2 49,2; Al_2O_3 7,83; Fe_2O_3 5,84; FeO 5,84; CaO 15,67; MgO 2,53; K_2O 1,99; $S_{общ}$ 1,54 Рудные минералы: арсенопирит, пирит, пирротин	–100	8,33 (60,0-68,33)
	ПРОМПРОДУКТЫ (КОНЦЕНТРАТЫ)		
	гравитационные		
Нежданинское, 80	SiO_2 10,55; $Fe_{общ}$ 36,2; $S_{общ}$ 22,3; S_s 21,7; $C_{орг}$ 2,1; As 18,6; Sb 0,1; Cu 0,05; Pb 3,5; Zn 0,7; Ag 318 г/т.	–50	6,4 (77-83,4)
	Арсенопирит – 38-39; пирит – 21-22; кварц – 8-10; углеродистые образования – 20 и др.	–500	31,08 (51,22-82,3)
	флотационные		
Ключевское, 29	Сульфидные минералы ~70; (пирит-марказит 65; халькопирит, арсенопирит, галенит – суммарно до 5). Глинисто-слюдистые минералы, турмалин, хлориты (суммарно 25), кварц – 6 и др.	–100 (80 %)	47 (40-87)
Кумтор (Киргизстан), 45	Пирит – 70-80; арсенопирит (незначительно)	–20	5,72 (81,98-87,7)
		–140	7,91 (63,08-70,99)
	ХВОСТЫ ОФ		
Александринское, 2,34	В руде: Cu 3,0; Zn 2,5; S 30; Ag 30 г/т	–74	26,94 (52,56-79,5)
Гайское, 2	Кварц – 35-40; пирит – 40-45; кальцит – 3-4; группа слюд (серицит, парагонит, мусковит, иллит) – 7-8; полевые шпаты – 5-6 и др.	–315	80 (11-91)
Узельгинское, 2,24	Cu 0,45; Zn 1,51; S 35,8; Ag 36,5 г/т	–74 (90-95 %)	36,61 (6,25-42,86)
Урупское, 1,02	Кварц – 35-40; пирит – 25-30; кальцит – 5-6; хлориты – 20-28 и др.	–315	71,1 (8,5-79,6)
Учалинское, 2,1	Cu 0,45; Zn 1,84; S 42,3; Ag 8,7 г/т	–74 (90-95 %)	23,81 (12,86-36,67)

растает преимущественно при обработке влажных продуктов.

На примере гравитационного концентрата месторождения Нежданинское установлено, что в случае обработки концентрата МЭМИ высокий прирост извлечения благородных металлов получен при минимальных энергозатратах – 2 кВт·ч в расчете на тонну перерабатываемого концентрата, в то время как затраты электроэнергии при механическом измельчении руды класса –500 + 50 мкм составляют 20-25 кВт·ч/т.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Научная школа акад. В.А.Чантурия» – НШ-472.2003.5 и гранта РФФИ № 02-05-64603.