

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) фронтами 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 меньше, чем 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 подачи 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 за-

данную 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 серий 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-

Влияние высокоимпульсных воздействий на извлечение золота цианированием из упорных золотосодержащих руд и продуктов обогащения

Месторождение; содержание золота, г/т	Массовая доля основных минералов (основных компонентов), %	Класс крупности, мкм	Прирост извлечения золота (от – до), %
ИСХОДНАЯ РУДА			
Ключус, 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 ₂ O ₃ 7,83; Fe ₂ O ₃ 5,84; FeO 5,84; CaO 15,67; MgO 2,53; K ₂ O 1,99; S _{общ} 1,54 Рудные минералы: арсенопирит, пирит, пирротин	–100	8,33 (60,0-68,33)
ПРОМПРОДУКТЫ (КОНЦЕНТРАТЫ)			
<i>гравитационные</i>			
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)
<i>флотационные</i>			
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.