

Электроразрядная селективная дезинтеграция рудного сырья

А. Р. Ризун, В. Ю. Кононов, А. Н. Рачков

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, г. Николаев, 54018, Украина, e-mail: dpcd@iipr.com.ua

Представлены условия селективной дезинтеграции с использованием электрического разряда в воде и технологический процесс обработки рудного сырья, позволяющей значительно увеличить прирост извлечения ценных металлов. Показаны зависимости давления ударной волны от прочностных характеристик руды, а также от емкости и расстояния от канала разряда.

Ключевые слова: электроразряд, электроразрядная дезинтеграция, полиметаллическая руда, давление, селективность.

УДК 537.525:622.73+669.78

При дроблении и измельчении рудного сырья с целью эффективного обогащения требуется соблюдение принципов селективной дезинтеграции. При этом существует ряд условий, которые должны выполняться при разрушении и после него.

Во время разрушений создаваемые в руде напряжения должны быть максимально сконцентрированы в зоне поверхностей раздела минеральных фаз. И при быстром снятии нагрузок можно добиться межкристаллического характера разрушений, то есть обеспечить геометрическую селективность последних [1]. После процесса разрушения необходимо обеспечить условия сохранения достигнутого фракционного состава, не допускать переизмельчения частиц за счет деформации трением или других дополнительных нагрузок, то есть обеспечить своевременный отбор продукта из зоны нагрузок. Создать такие условия возможно только механизмами с достаточно высокой энергоемкостью и управляемостью.

К таким механизмам можно отнести электровзрыв. Эффективность импульсного воздействия электровзрыва зависит от многих параметров, из которых следует выделить основные: напряжение, индуктивность, запасаемая энергия и частота следования импульсов [2].

На практике для дробления и измельчения рудного сырья подобным механизмом используются низкочастотные или высокочастотные наносекундного диапазона электроразрядные импульсы напряжения [3–5]. Такой способ дезинтеграции предусматривает применение высоких напряжений (до 250 кВ), что не всегда оправдано по затратам энергии и технике безопасности.

Цель данной работы – установление возможности селективного дезинтеграционного разде-

ления рудного сырья при воздействии на него импульсами тока электровзрыва.

Для достижения цели определены величины давления волн сжатия для расчёта оптимального радиуса эффективного воздействия на обрабатываемое сырьё; установлены условия селективной дезинтеграции рудного сырья путем параметрического изменения характеристик разряда.

Селективность электроразрядного способа дезинтеграции обеспечивается возможностью установления необходимых силовых параметров относительно прочности рудного сырья. Поскольку прочность межфазных границ, как правило, уступает прочности фаз, необходимым условием селективности должно быть ограничение силового воздействия электроразряда на обрабатываемый объект, а именно давления волн сжатия и растяжения, образовавшихся в результате мгновенного расширения канала разряда, не должны превышать предел прочности на сжатие обрабатываемого продукта.

Амплитуда давления определяется как функция электрических параметров электроразряда (U_0 , C , L , l_{pn}) и дополнительного параметра, определяющего расстояние рудного материала от канала разряда (r) для расчета величины максимального давления волны сжатия, необходимого для его селективного разделения [5]:

$$P_m = \frac{U_0^{5/4} \cdot C^{1/4}}{r^{1/2} \cdot L^{3/8} \cdot l_{pn}^{3/8}}, \quad (1)$$

где P_m – давление волны сжатия, МПа; U_0 – напряжение на обкладках конденсатора, кВ; C – ёмкость конденсаторной батареи, мкФ; r – расстояние от канала разряда, м; L – индуктивность разрядного контура, мкГн; l_{pn} – величина разрядного промежутка, м.

На основе результатов большого числа экспериментальных исследований в области электро-разрядного разрушения материалов и с учетом ограничения по переизмельчению рудного сырья установлены условия, при которых давление волн сжатия P_m должно быть больше предела прочности на растяжение $\sigma_{рас}$ и меньше предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, чтобы разделение частиц проходило в основном за счет растягивающих усилий по межфазным границам [6, 7]:

$$\frac{U_0^{5/4} \cdot C^{1/4}}{r^{1/2} \cdot L^{3/8} \cdot l_{pn}^{3/8}} = (\sigma_{сж} - \sigma_{рас}). \quad (2)$$

Решением равенства (1) относительно изменения величины емкости C и радиуса от канала разряда r представлены результаты расчетов величины давления P_m (табл. 1) при следующих параметрах разряда: $U_0 = 50$ кВ, $L = 8$ мкГн, $l_{pn} = 0,05$ м. Сопоставляя величину давления со средним значением величин прочности на сжатие и растяжение исследуемого материала подбором параметра C , устанавливаем требуемую величину давления для дезинтеграции рудного сырья.

Таблица 1. Зависимость давления от емкости накопителя и расстояния от канала разряда

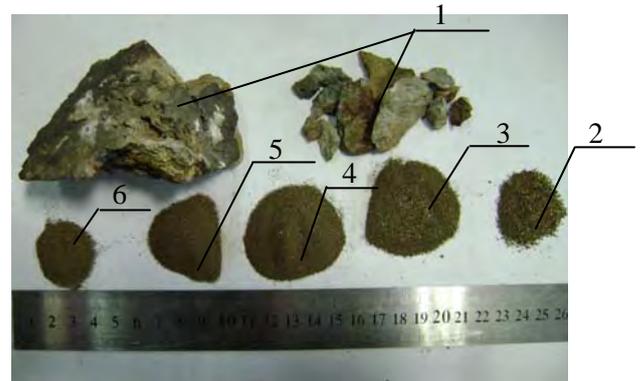
r , м	P_m , МПа				
	$C = 1$ мкФ	$C = 2$ мкФ	$C = 3$ мкФ	$C = 4$ мкФ	$C = 5$ мкФ
0,01	125,40	149,10	165	177,30	187,50
0,03	72,38	86,08	95,26	102,40	108,20
0,05	56,07	66,68	73,79	79,29	83,84
0,07	47,39	56,35	62,36	67,01	70,86
0,10	39,65	47,15	52,18	56,07	59,28
0,12	36,19	43,04	47,63	51,18	54,12
0,15	32,37	38,50	42,60	45,78	48,41
0,20	28,03	33,34	36,89	39,65	41,92

В процессе исследований обработано более 20 видов рудного сырья и хвостов флотации. В качестве примера в табл. 2 приведены данные ситового и микроскопического анализов электро-разрядной дезинтеграции медно-цинковой руды с исходными размерами кусков от 100 мм и ниже [8].

Обработка руд проводилась порционно в электро-разрядном реакторе ёмкостью 50 л в соотношении руды и воды 1:3. Предел прочности руды на сжатие составил 65 МПа, и по условию (2) селективного разделения руд установлены параметры электро-разряда. Оптимальные затраты энергии, определенные экспериментально, в зависимости от крепости исходного материала и для данного типа руды составили 26 кВт·ч/т [9]. На рисунке представлены образцы электро-разрядной дезинтеграции медно-цинковой руды.

Для раскрепления матриц, содержащих ценные компоненты, и максимального обогащения

концентратов целесообразно измельчать руду без переизмельчения в пределах от 0,1 до 0,03 мм [10]. Анализ результатов, представленных в табл. 2, показывает, что наиболее приемлемыми параметрами при равных удельных затратах энергии являются два первых опыта с более высокими частотами следования разрядов и запасенной энергией до 2,5 кДж. Однако с увеличением крепости руды энергия разряда будет смещаться в сторону увеличения, так как 2,5 кДж может быть недостаточно для её разрушения и измельчения. Обработанные образцы рудного сырья исследовались в специализированных лабораториях заказчиков, использовавших данную технологию.



Образцы до (1) и после (2–6) электро-разрядной дезинтеграции с фракционным составом, мм: 2 – от 0,5 до 0,1; 3 – от 0,1 до 0,07; 4 – от 0,07 до 0,05; 5 – от 0,05 до 0,03; 6 – от 0,03 и менее.

В результате селективного измельчения полиметаллических руд и флотационного обогащения достигнуто извлечение меди в пределах до 83%, золота – до 90%, серебра – до 95%. При обработке хвостов флотации удельные затраты энергии увеличивались до 30 кВт·ч/т [9]. Измельчение доводилось в основном до крупности 0,044 мм, что обеспечивало извлечение ценных компонентов в среднем до 90%.

Таким образом, электро-разряд может быть конкурентоспособным методом измельчения и обогащения рудного сырья. Обработка рудного сырья ведется одностадийно, в комплексе – от крупного дробления до тонкого измельчения, что значительно экономит затраты на получение выходного продукта. Изменением параметров электро-разряда достигаются высокая управляемость процессами обогащения руд и автоматизация процессов измельчения и обогащения.

При селективном отделении меди и цинка от пирита последний может быть разложен по компонентам в кислой среде, которая образуется при деструкции воды вследствие насыщения разрядной среды ионами H^+ . Все это позволяет в комплексе более объемно и эффективно обогатить рудное сырье и снизить потери в отходах флотации.

Таблица 2. Гранулометрический состав медно-цинковой руды после электроразрядной дезинтеграции

Параметры электроразрядов				Гранулометрический состав, %				
r , м	W , кДж	F , Гц	$W_{уд}$, кВт·ч/т	0,5–0,1 мм	0,1–0,07 мм	0,07–0,05 мм	0,05–0,03 мм	0,03–0,00 мм
0,05	1,25	6	26,0	10,0	18,0	38,0	28,0	5,0
0,07	2,5	4	26,0	10,0	20,0	37,0	23,0	10
0,1	3,75	3	26,0	12,0	23,0	34,5	22,0	8,5
0,1	5,0	2	26,0	15,0	25,0	33,5	20,0	6,5
0,1	6,25	2	26,0	22,0	24,0	30,0	17,0	7,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Ревнивцев В.И., Гапонов Г.В., Зарогатский Л.П. *Селективное разрушение минералов*. М.: Недра, 1988. 286 с.
2. Наугольных К.А., Рой Н.А. *Электрические разряды в воде*. М.: Наука, 1971. 154 с.
3. Чантурия В.А., Бунин И.Ж. Высокоимпульсный метод вскрытия упорных золотосодержащих продуктов. *Записки горного института*. СПб. 2005, **165**, 207–209.
4. Чантурия В.А., Бунин И.Ж., Зубенко А.В. Влияние мощных наносекундных импульсов на технологические свойства упорных золотосодержащих продуктов и железистых кварцитов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. МГУ. 2006, (8), 365–373.
5. Kingman S. Recent Developments in Microwave Processing of Minerals. *International Materials Reviews*. 2006, **51**(1), 1–12.
6. Кривицкий Е.В. *Динамика электровзрыва в жидкости*. Киев: Наукова думка, 1986. 208 с.
7. Rizun A.R., Denisyuk T.D., Kononov V.Yu. and Rachkov A.N. Electric Discharge Decomposition of Metallurgical Grade Silicon. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2012, **48**(4), 389–391.
8. Пат. 98727 Україна, МПК(51) В02С 19/18 (2006.01), В03В 1/00. *Спосіб підготовки поліметалічних руд до флотації*. Різун А.Р., Яковлев В.А., Рачков О.М.; власник ІПТ НАН України. № 201102302; заявл. 28.02.12.
9. Різун А.Р., Голень Ю.В., Денисюк Т.Д., Кононов В.Ю., Рачков А.Н. Разработка и внедрение электроразрядного процесса селективной дезинтеграции хвостов обогащения полиметаллических руд. *Наука та інновації*. 2013, **9**(2), 5–9.
10. Классен В.И. *Обогащение руд (химического сырья)*. М.: Недра, 1979. 240 с.

Поступила 26.11.12

После доработки 27.05.13

Summary

Conditions of selective disintegration of the crude ore through an electric discharge in water as well as a technological process of its processing, which allows for a considerable increase of recovery of precious metals, are presented. Dependences of pressure of a shock wave on the strength properties of ore, and also dependence on the capacity and distance from the channel of discharge are shown.

Keywords: discharge, electrodischarge disintegration, polymetallic ore, pressure, selectivity.