

ПАРАМЕТРЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОРТИРОВКИ ЗАБАЛАНСОВЫХ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУД

Афанасьев А.И.¹, Паньков С.А.¹, Потапов В.Я.¹

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail: ser_pankov@list.ru

Вовлечение в переработку руд с пониженным содержанием полезных компонентов приводит к существенному повышению энергозатрат и ухудшению экономических показателей горно-обогатительных предприятий. Задачей исследований являлась разработка технологии и механизма удаления в хвосты пустой породы. Это позволяет существенно снизить объемы перерабатываемой горной массы, уменьшить энергозатраты на дробление, измельчение и повысить концентрацию полезного ископаемого в продукте разделения. Разделять по плотности и фрикционным свойствам забалансовые сульфидные руды практически невозможно, так как эти свойства различаются несущественно. В медно-цинковых сульфидных рудах электрические и теплофизические свойства (теплоемкость, теплопроводность, коэффициенты объемного расширения) существенно отличаются от соответствующих характеристик вмещающих пустых пород. В результате экспериментов получена зависимость удельного напряжения пробоя от содержания сульфидов в куске забалансовой руды. Предварительная сортировка по крупности и электрообработка забалансовых руд приводит к возрастанию выхода мелких классов на 18%, снижению времени и на 18...20% энергозатрат и в конечном счете уменьшению расхода мелющих тел.

Ключевые слова: электропроводность, напряжение пробоя, электрическое разупрочнение руд, сульфидная руда, содержание сульфидов, бедная руда, измельчение.

PARAMETERS OF EQUIPMENT FOR SORTING OFF-BALANCE COPPER-ZINK ORES

Afanasyev A.I.¹, Pankov S.A.¹, Potapov V.Y.¹

¹Ural state Mining University, Yekaterinburg, Russia (620144, Yekaterinburg, street Kuibyshev, 30), e-mail: ser_pankov@list.ru

Processing the ore with a low content of useful components leads to a significant increase of energy consumption and the decline of economic performance of mining and processing enterprises. The task of research is the development of technology and removal mechanism of waste in the tailings. This allows to significantly reduce the volume processed rock mass, to reduce energy consumption for crushing, grinding and increase the concentration of useful mineral in the product of separation. Separation off-balance sulfide ores by density and friction properties is almost impossible because of little difference between these properties. In the copper-zinc sulfide ores electrical and thermal properties (specific heat, thermal conductivity, coefficient of volume expansion) differ significantly from those of the reference to the enclosing enclosing waste rock. As a result of experiments was obtained dependence of the specific breakdown voltage of the content of sulfides in a piece off-balance ore. Preliminary sorting and electroprocessing off- balance ores leads to increase in an the output of fine classes by 18%, reduce the time and 18...20% decreasing of the energy consumption and, finally, reduce the consumption of grinding media.

Keywords: Electrical conductivity, breakdown voltage, electrical weakening of ore; sulfide ore; sulfide content; poor ore, grinding.

Вовлечение в переработку руд с пониженным содержанием полезных компонентов приводит к существенному повышению энергозатрат и ухудшению экономических показателей горно-обогатительных предприятий. Для поддержания конкурентоспособности горно-обогатительного производства необходимо совершенствование технологических процессов и, соответственно, конструкции оборудования для выполнения соответствующих операций обогащения.

В УГГУ были проведены исследования по анализу способов и обоснованию параметров оборудования для переработки забалансовых сульфидных руд Молодежного месторождения с содержанием меди до 0,6%.

Первоочередной задачей исследований являлась разработка технологии и механизма удаления в хвосты пустой породы. Это позволяло существенно снизить объемы перерабатываемой горной массы, уменьшить энергозатраты на дробление, измельчение и повысить концентрацию полезного ископаемого в продукте разделения.

Перед проведением экспериментов возникла необходимость в обосновании признака разделения [8]. Разделять по плотности забалансовые сульфидные руды практически невозможно. Плотность кусков, содержащих сульфиды, незначительно отличается от плотности пустой породы. Фрикционные свойства бедных сульфидных руд (коэффициенты трения скольжения и покоя, коэффициент восстановления при ударе и мгновенного трения) и пустой породы также различаются несущественно.

Некондиционная руда Молодежного месторождения имеет следующий состав (массовая доля): халькопирит – 1,4...2,5%; теннантит – 0,1...0,2%; сфалерит – 0,7...1,7%; пирит – 22,8...32,4%; остальное – 61,4...75% пустые породы. Состав руды Молодежного месторождения характерен для аналогичных руд других месторождений Южного и Среднего Урала [8]. Вкрапления сульфидов в пустую породу являются хорошими проводниками. Их удельное электрическое сопротивление составляет $10^{-3} \dots 10^{-1}$ Ом·м, а пустая порода его имеет на несколько порядков больше. Как отмечено в [1; 5; 6], электрическое сопротивление горной породы существенно зависит от содержания в ней токопроводящих включений. В медно-цинковых сульфидных рудах электрические и теплофизические свойства (теплоемкость, теплопроводность, коэффициенты объемного расширения) существенно отличаются от соответствующих характеристик вмещающих пустых пород. Поэтому при пропускании тока через кусок бедной руды возможен нагрев и расширение отдельных токопроводящих вкраплений, что может вызвать напряжения растяжения, превышающие предел прочности.

В результате предварительных испытаний установлено, что необходимое напряжение пробоя куска зависит не только от содержания сульфидов, но и его размеров, что подтверждают сведения, приведенные в работе [6].

На рис. 1 приведены фотографии куска породы с сульфидами. Слева на фотографии находится кусок руды с относительно большим содержанием сульфидов 1, «пробитый» при напряжении 5,75 кВ, в середине смесь 2 сульфидов 50% и пустой породы 50% – связка «эпоксидная смола» («пробитая» при напряжении 9,2 кВ), справа – не «пробитый»

напряжением 9,2 кВ кусок породы 3 с относительно небольшим (меньше 10%) содержанием сульфидов.

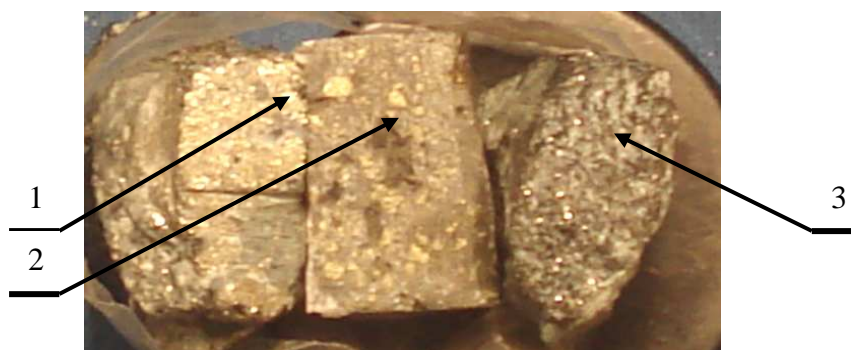


Рис. 1. Распределение сульфидов в куске забалансовой руды

Из рис. 1 видно, что кусок 1 отличается по содержанию сульфидов от 2 не более чем в 2 раза. Удельное напряжение пробоя первого куска – 2,8...3,5 кВ/см – отличается от удельного напряжения второго куска (17...19 кВ/см) более чем в 2 раза. Эти данные свидетельствуют о нелинейной зависимости удельного напряжения пробоя от содержания сульфидов. Таким образом, возникла необходимость определения зависимости напряжения пробоя от содержания сульфидов.

Эксперименты проводились с образцами цилиндрической формы, диаметром 16 мм и различной длиной. Для обеспечения равномерности распределения сульфидов по образцу пустая порода и халькопирит измельчались до крупности – 0,5 мм. Затем смесь в определенных пропорциях смешивалась, помещалась в не токопроводящий цилиндр и прессовалась до плотности ($\rho = 2600...2900 \text{ кг/м}^3$), близкой к средней плотности забалансовой руды в естественном состоянии ($\rho = 2680 \text{ кг/м}^3$).

При проведении эксперимента фиксировалось напряжение и ток при пробое, а также размеры образца. На рис. 2 приведена зависимость удельного напряжения пробоя от содержания сульфидов.

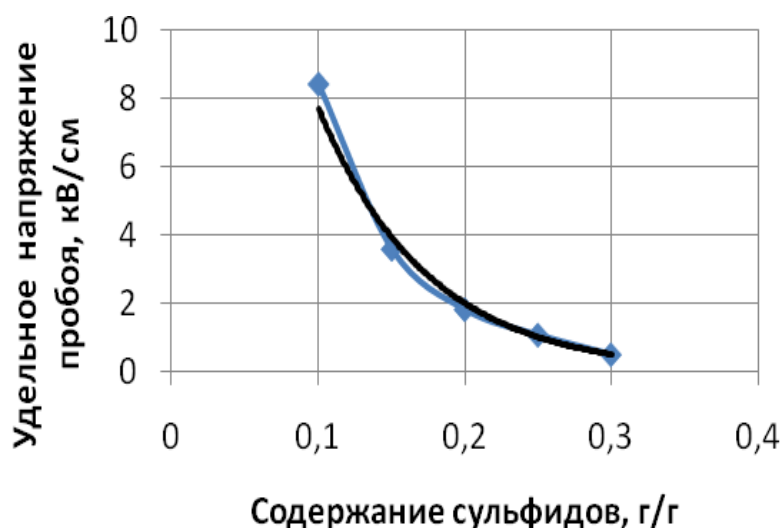


Рис. 2. Зависимость удельного напряжения пробова от содержания сульфидов

В результате статистической обработки [2; 4] получена зависимость удельного напряжения пробова (U_y , кВ/см) от содержания сульфидов (α , г/г) в куске забалансовой руды.

$$U_y = 29,9 \exp(-13,4\alpha).$$

Уравнение адекватно отражает свойства горной породы при изменении содержания сульфидов в пределах от 0,1÷0,4 г/г, что включает весь диапазон содержания сульфидов в забалансовых рудах Молодежного месторождения. Относительно большая величина корреляционного отношения $R^2 = 0,99$ [3] свидетельствует о наличии взаимосвязи между содержанием сульфидов и удельным напряжением пробова.

Уравнение позволяет определить величину напряжения, необходимого для пробова кусков забалансовой руды с различным содержанием сульфидов в классе +20 –80 мм.

При содержании сульфидов в куске меньше 0,1 г/г напряжение пробова увеличивалось в несколько раз. Пустая порода не «пробивалась» при напряжении 200 кВ/см. Таким образом, эксперименты доказали возможность эффективного выделения в отвал пустой породы и разупрочнения сульфидных кусков для дальнейшего обогащения.

В дальнейшем «пробитая» руда разрушалась ударом и измельчалась в двухкамерной шаровой мельнице. На рис. 3 приведена гистограмма распределения размеров кусков электрообработанной руды после дробления.

Статистическая обработка результатов экспериментов показала, что распределение кусков забалансовой руды после дробления близко к закону Рэля с параметром $a=13,4$. Степень соответствия данного распределения закону Рэля производилась по критерию χ^2 . Расчет показал, что с надежностью 0,95 это распределение соответствует данному закону.

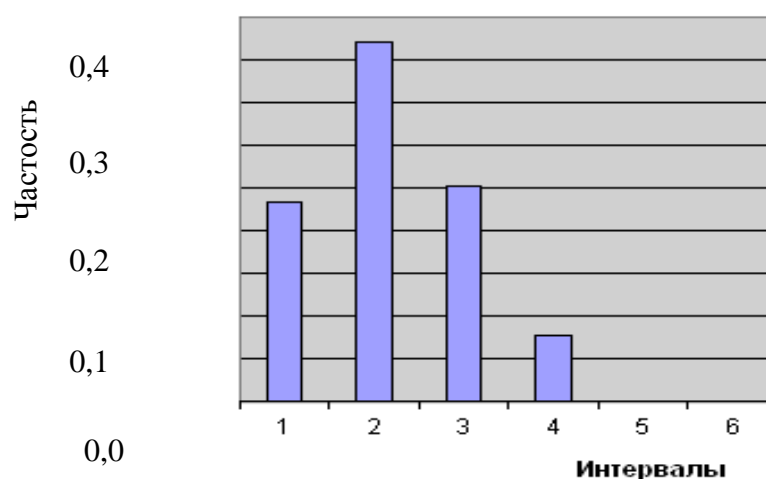


Рис. 3. Гистограмма распределения кусков сульфидной руды после дробления ударом.

Интервалы: 1 – 0...10 мм; 2 -10...20 мм; 3 - 20...30 мм; 4 -30...40 мм

Установлено, что затраты энергии на дробление ударом кусков забалансовой руды, подвергнутой электрообработке, составляют в среднем 0,5...0,6 кДж/кг, а кусков не пробитой пустой породы с относительно низким содержанием сульфидов на 40...50% больше. При ударном разрушении кусков замерялась энергия удара, а также их размеры до и после разрушения.

В таблице 1 приведены результаты фракционного состава забалансовой руды до и после измельчения.

Таблица 1

Гранулометрический состав забалансовой медно-цинковой руды Молодежного месторождения

Класс, мм	Содержание класса до измельчения, %	Содержание класса после измельчения, %	Содержание класса до измельчения, %	Содержание класса после измельчения, %
	<i>Электрообработанная</i>		<i>Необработанная</i>	
+20	14,9	8,0	31,0	22,7
-20+10	33,6	20,8	35,2	24,6
-10+5	21,5	8,5	6,3	8,3
-5+2	11,9	2,2	8,0	2,8
-2+1	5,6	0,9	3,8	1,1
-1+0,5	4,7	1,0	2,5	1,4
-0,5+0,25	3,6	2,2	1,2	2,5
-0,25+0,15	0,9	6,5	0,5	6,3
-0,15	3,3	49,9	1,5	31,5

Измельчение в шаровой мельнице производилось в водопадном режиме, т.е. при скорости вращения, равной от 0,75 критической.

Степень измельчения i в шаровой мельнице за 20 минут работы в водопадном режиме определялась по известной формуле [7]. Она составила: а) для электрообработанной руды $i= 1,95$; б) для не обработанной руды $i= 1,25$. Таким образом, за 20 минут работы мельницы электрообработка практически в 1,5 раза увеличивает степень измельчения забалансовой руды.

Предварительно нами были определены затраты энергии на холостой ход мельницы с шарами, без шаров, с рудой и шарами. В результате испытаний установлено, что уровень потребления мельницей определяется главным образом величиной шаровой нагрузки. Так как обе порции горной массы были одинаковы и одновременно измельчались в двухкамерной мельнице, то затраты энергии на измельчение каждой части можно принять одинаковыми. Поэтому оценку эффективности электрообработки забалансовой руды можно производить по выходу мелких и крупных классов. Данные таблицы показывают, что электрообработка горной массы приводит к существенному возрастанию выхода мелких классов, в которых, как правило, находятся сульфиды. В частности, выход класса $-0,15$ мм возрос на 18,4%, а выход класса $+5$ мм сократился на 28,3%. Таким образом, эти результаты свидетельствуют о существенном (как минимум на 18...20%) снижении энергозатрат при измельчении электрообработанной забалансовой руды.

При заданной производительности мельницы увеличение выхода готового класса на 18% эквивалентно снижению времени измельчения. Известно [7], что расход мелющих тел – шаров практически прямо пропорционален выходу готового класса. Таким образом, уменьшение времени измельчения руды за счет её разупрочнения, при прочих равных условиях, позволяет пропорционально увеличению выхода мелких классов уменьшить расход мелющих тел. После измельчения обе пробы были направлены на химический анализ, в результате которого установлено, что содержание меди в электрообработанной руде оказалось в 4 раза больше, чем не обработанной. Это подтверждает эффективность электрообработки при предварительной сортировке бедных сульфидных руд.

Выводы

1. Величина напряжения пробоя для забалансовых медно-цинковых руд должна быть 8...9 кВ, что обеспечит надежное выделение богатых кусков руды в классе $-80 +20$ мм.
2. Предварительная сортировка по крупности и электрообработка забалансовых руд приводит к возрастанию выхода мелких классов на 18%, снижению времени измельчения и энергозатрат и в конечном счете уменьшению расхода мелющих тел.
3. Электрообработка забалансовой руды позволяет в 4 раза увеличить содержание меди в готовом продукте.

Список литературы

1. Емелин М.А., Морозов В.Н., Новиков Н.П. Новые методы разрушения горных пород : уч. пособие для вузов. - М. : Недра, 1990. - 240 с.
2. Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романиков Ю.И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. - М. : Атомиздат, 1975. - 230 с.
3. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М. : Высшая школа, 1982. - 224 с.
4. Митропольский А.К. Техника статистических исследований. - М. : Наука, 1971. - 576 с.
5. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. - М. : Недра, 1978. - 359 с.
6. Ржевский В.В., Протасов Ю.И. Электрические разрушения горных пород. - М. : Недра, 1972. - 205 с.
7. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / под ред. О.С. Богданова [и др.]. - М. : Недра, 1982. - 272 с.
8. Цыпин Е.Ф., Потапов В.Я., Троп В.А. Прогноз радиометрической обогатимости медно-цинковых руд на основе априорной информации // Известия вузов. Горный журнал. - 1990. - № 1. - С. 110–115.

Рецензенты:

Кожушко Г.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой подъемно-транспортных машин и роботов Уральского федерального университета им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина, г.Екатеринбург.

Мальцев В.А., д.т.н., доцент, директор Института материаловедения и металлургии ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина», г.Екатеринбург.