

УДК 622.75

РАЗДЕЛЕНИЕ БЕДНЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ

Афанасьев А. И., Паньков С. А., Потапов В. Я.,
Симисинов Д. И., Угольников А. В.

Рассмотрен электротермический процесс рудоподготовки кусков бедных сульфидных руд крупностью до 100 мм к последующему измельчению методом, основанным на разрушении горных пород под воздействием энергии электромагнитных волн электрического поля. Результаты расчетов подтверждены экспериментальными исследованиями. Полученные зависимости позволяют сделать вывод, что электрообработка бедных сульфидных руд позволяет существенно сократить объемы переработки горной массы, снизить энергоемкость измельчения, повысить концентрацию полезного ископаемого.

Ключевые слова: электропроводность; электрическое разупрочнение руд; ударное разрушение; сульфидная руда; бедная руда; измельчение.

Совершенствование технологии и экономики обогащения в последние годы связывается с введением в рудоподготовительный передел операций предварительного разделения горной массы, позволяющих после первых стадий дробления удалить из процесса породные фракции. В настоящее время около 40–50 % всех энергетических затрат обогатительных фабрик относятся к этапу подготовки сульфидных руд к глубокому обогащению, которое предполагает многостадийное дробление и последующее тонкое измельчение руд.

Интерес представляют работы, связанные с новыми методами снижения энергетических затрат на рудоподготовку, основанными на ослаблении связей между частицами минералов в кусках горных пород, в которых применяется невзрывное и немеханическое воздействие на породу [1, 2].

Изменение физического состояния и химических свойств минеральных веществ при их диспергировании представляет определенный научно-практический интерес для снижения энергетических затрат на первых стадиях рудоподготовки и активации минералов при их измельчении.

В данной работе рассмотрен электротермический процесс рудоподготовки кусков сульфидных руд крупностью до 100 мм к по-

следующему измельчению. Метод основан на разрушении горных пород под воздействием энергии электромагнитных волн электрического поля. В результате определенные объемы сульфидов нагреваются, их объем увеличивается, и в породе появляются растягивающие напряжения, которые приводят к разрушению куска породы по границам связи между частицами минералов [1].

При электротермических способах разрушения горная порода выступает в качестве преобразователя энергии – электромагнитной в тепловую, а тепловой – в механическую, являясь инструментом, производящим разрушение [1].

Поглощение электромагнитной энергии W породой определяется ее электропроводностью для низких частот электромагнитного поля. Количество выделившейся в породе тепловой энергии определяется законом Джоуля–Ленца [1, 3]:

$$W = \int_0^{t_k} q_n E^2 V_1 dt,$$

где q_n – электропроводность породы, Ом⁻¹; E – напряженность электрического поля, А/м; V_1 – объем породы, занятый полем, м³; t_k – время действия электрического поля в породе, с.

В результате воздействия электрического поля возникает тепловой пробой – процесс

перехода диэлектрика или полупроводника в проводник за счет потери изоляционных свойств твердых тел.

Рассмотрим процесс разрушения горных пород с использованием установки, разработанной в Уральском государственном горном университете (рис. 1).

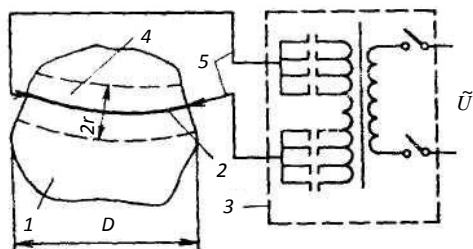


Рис. 1. Схема разрушения породы электрическим пробоем:
1 – кусок породы; 2 – канал пробоя; 3 – энергетическая установка; 4 – рабочее место; 5 – подводящие кабели

Установка представляет собой полуавтомат, в котором напряжение, подаваемое на электроды, автоматически регулируется по величине тока так, что энергия, вводимая в канал пробоя, поддерживается на заданном уровне, как правило, равной номинальной. Максимальное напряжение на электродах в этих установках – 6 кВ.



Рис. 2. Схема установки электродов на куске

Установка работает следующим образом: электроды устанавливаются на кусок породы с противоположных сторон (рис. 2), на электроды подается напряжение. Затем в точках контакта последних с породой возникает дуга и происходит оплавление породы (рис. 3) с по-

следующим её разрушением (рис. 4).



Рис. 3. Зоны пробоя куска при воздействии электрического заряда



Рис. 4. Разрушение куска при воздействии электрического заряда

Для оценки влияния степени разрушения кусков после теплового пробоя было произведено их дробление ударом. Энергия удара изменялась от 75 до 200 Дж, в зависимости от их крупности. На рис. 5 представлены образцы после ударного разрушения.

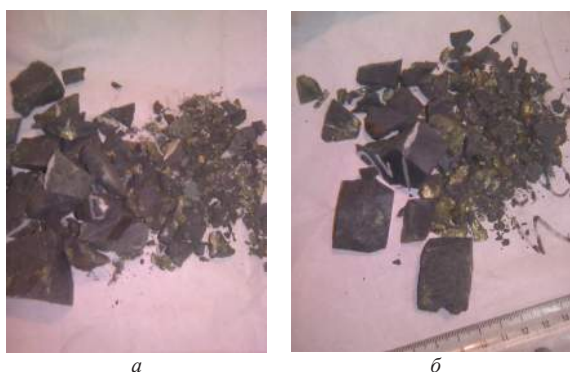


Рис. 5. Результаты разрушения кусков:
а – образец, не подвергавшийся тепловой обработке; б – образец, подвергавшийся тепловой обработке

Гранулометрические характеристики на основе ситового анализа представлены на рис. 6.

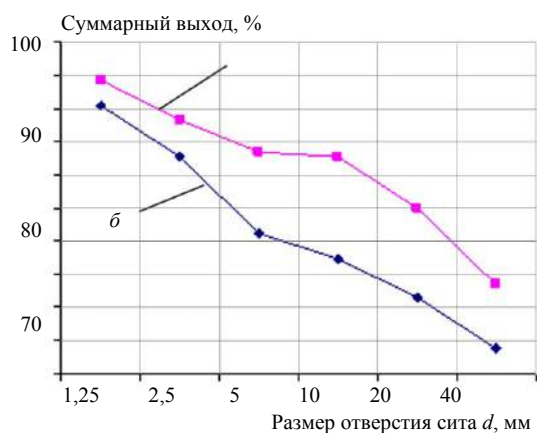


Рис. 6. Суммарные характеристики сульфидной руды: *a* – образец, не подвергаемый электрообработке; *б* – образец, подвергаемый электрообработке

В результате исследования установлено, что электрообработка сульфидной руды позволяет разрушать куски с образованием

большого количества кусков мелких классов крупности (см. рис. 6, *б*) по сравнению с кусками, не подвергнутыми электрообработке (рис. 6, *a*). Установлено, что основная концентрация свободных сульфидов находится в классе $-10...+0$ мм. Параметры процесса разрушения бедной медно-цинковой руды приведены в таблице.

На рис. 7 приведена зависимость относительной энергии разрушения от энергии удара.

В результате электрической обработки установлено, что энергия разрушения кусков сульфидной руды снижается по сравнению с кусками необработанной руды. На рис. 7 видно, что чем больше степень дробления, тем больше удельные затраты энергии. Поэтому, по нашему мнению, эффективность процесса дробления целесообразно оценивать отноше-

Параметры процесса разрушения бедной медно-цинковой руды

Средневзвешенный размер кусков до дробления, d_1 , мм	Степень дробления, i	Энергия удара, E , кДж	Относительная энергия разрушения, E_y / i , кДж/кг
33	3,75	75	0,45
41	3,6	104	0,39
49	3,8	139	0,29
56	3,1	184	0,25

нием удельной энергии разрушения к степени дробления, т. е. относительной энергии разрушения. Чем меньше относительная энергия

разрушения, тем совершеннее в конструктивном исполнении установка и эффективнее процесс.

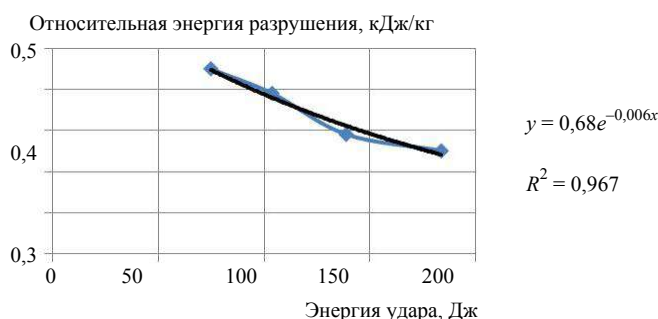


Рис. 7. Зависимость относительной энергии разрушения от энергии удара

Использование данного метода позволит значительно снизить последующие энергетические затраты на измельчение в результате разрушения приконтактной зоны сростков

сульфидов, что позволяет при разработке технологической схемы выделять сульфиды в отдельные продукты и перерабатывать по различным схемам измельчения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новые методы разрушения горных пород: учеб. пособие для вузов / М. А. Емелин [и др.]. М.: Недра, 1990. 240 с.
2. Молчанов В. И., Селезнева О. Г., Жирнов Е. Н. Активизация минералов при измельчении. М.: Недра,

1988, 208 с.

3. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1978. 359 с.

4. Математическая модель разделительного аппарата для бедных сульфидных руд / А. И. Афанасьев [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. № 2. 2014. С. 63–68.

Афанасьев Анатолий Ильич – доктор технических наук, профессор кафедры технической механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: gmf.tm@ursmu.ru

Паньков Сергей Александрович – аспирант. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30. E-mail: ser_pankov@list.ru

Потапов Валентин Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: 2c1@inbox.ru

Симисинов Денис Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации горного оборудования. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: 7sinov@mail.ru

Угольников Александр Владимирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой электро-техники. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: aleksandr.ugolnikov@m.ursmu.ru