

**Московский
государственный
горный
университет**



РЕДАКЦИОННЫЙ

С О В Е Т

Председатель

Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя

Л.Х. ТИТИС

Члены редсовета

И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

М.В. КУРЛЕНЯ

В.И. ОСИПОВ

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.В. ХРОНИН

В.А. ЧАНТУРИЯ

Е.И. ШЕМЯКИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

*директор МГГУ,
чл.-корр. РАН*

*директор
Издательства МГГУ*

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАН

академик РАН

академик МАН ВШ

академик РАН

профессор

академик РАН

академик РАН

**С.А. Гончаров
П.П. Ананьев
В.Ю. Иванов**

**РАЗУПРОЧНЕНИЕ
Г О Р Н Ы Х
ПОРОД
ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ИМПУЛЬСНЫХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ПОЛЕЙ**



**МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА
2006**

УДК 622.236
ББК 65.304.11
Г 65

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253 — 03», утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г.

Гончаров С.А., Ананьев П.П., Иванов В.Ю.

Г 65 Разупрочнение горных пород под действием импульсных электромагнитных полей. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. — 91 с: ил.
ISBN 5-7418-0436-5

Рассмотрены механизмы разупрочнения горных пород, содержащих минералы-ферромагнетики, а также горных пород-диэлектриков, не обладающих магнитными свойствами, под действием импульсных электромагнитных полей.

Для специалистов горной отрасли. Может быть полезна студентам высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Физические процессы горного и нефтегазового производства» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело».

УДК 622.236
ББК 65.304.11

ISBN 5-7418-0436-5

© С.А. Гончаров, П.П. Ананьев,
В.Ю. Иванов, 2006
© Издательство МГГУ, 2006
© Дизайн книги.
Издательство МГГУ, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Процесс рудоподготовки в технологии обогащения различных руд преследует цель создания условий, обеспечивающих максимальную степень извлечения полезного компонента. Как правило, этот процесс связан с измельчением руды в мельницах до крупности частиц меньше меньшего размера зерна полезного компонента с последующим его извлечением различными способами.

Процесс измельчения руды в мельницах является достаточно энергоемким. Энергоемкость помола, в первом приближении, пропорциональна величине вновь образованной удельной поверхности, что равносильно обратной величине размера частиц на разгрузке мельницы. Так, энергоемкость трехстадийного измельчения железистых кварцитов на Михайловском ГОКе составляет 32 кВт·ч на 1 т руды.

Одним из перспективных направлений по снижению энергоемкости измельчения руды является ее предварительная обработка импульсным магнитным полем (ИМП) [11,12,13,16].

Технология импульсной электромагнитной обработки руд (ИЭМО) осуществляется путем пропускания руды через отрезок диэлектрического трубопровода, на котором размещена система электромагнитных катушек, генерирующая в непрерывном автоматическом режиме импульсы электромагнитного поля с заданной частотой следования.

ИЭМО осуществляется непосредственно перед помолом в мельницах с целью разупрочнения руды либо в процессе извлечения полезного компонента (например, при выщелачивании редких земель, цианировании золотосодержащего концентрата и т.д.).

Затраты энергии на ИЭМО не превышают 0,1 — 0,4 кВт·ч на 1 т руды [11,13]. Небольшая энергоемкость процесса позволяет при ИЭМО на стадии рудоподготовки снизить удельную энергоемкость помола в 1,3 — 2,2 раза, что составляет в среднем 8 —

15 кВт·ч на 1 т руды (примерно на столько же повышается производительность мельниц). При использовании ИЭМО на этапе извлечения полезного компонента имеет место снижение потерь в хвостах до 1,7 раза.

Область эффективного применения ИЭМО во многом обусловлена минералогическим составом руды. Желательно, чтобы минералогический состав соответствовал хотя бы одному из нижеприведенных требований:

- минералы, входящие в состав руды, обладают резко отличающимися магнитоэлектрическими и механическими свойствами;
- один или несколько минералов обладают магнитными свойствами;
- один или несколько минералов обладают электропроводностью;
- один или несколько минералов являются пьезоэлектриками либо сильными электрострикторами.

Эффект разупрочнения руды при ИЭМО руды обусловлен следующими факторами.

При магнитном воздействии внешнее магнитное поле распространяется по всему объему руды. При наличии в руде минералов-пьезоэлектриков (например, кварца, турмалина и иных сегнетоэлектриков) или магнитных зерен (например, сульфидов, оксидов и иных магнитных соединений железа, никеля, хрома) ИЭМО вызывает в этих зернах эффекты магнитострикции обратного пьезоэффекта или электрострикции, характеризующиеся возникновением деформаций в отдельных минералах. За счет неоднородности магнитоэлектрических и механических свойств минералов, входящих в состав руды, а также наличия воды в порах на границах зерен возникает концентрация полей и усилий.

В результате этого по всему объему руды на межзеренных границах возникают растягивающие и сдвиговые напряжения, соизмеримые с величиной критических напряжений на растяжение или сдвиг. Учитывая, что прочность руды на растяжение и сдвиг в 6 — 10 раз меньше прочности на сжатие, а полезная работа внутренних сил по разрушению пропорциональна квадрату

величины напряжений, можно сделать вывод, что энергоемкость ИЭМО, приводящая к развитию трещин на межзеренных границах, может быть более чем в 35 — 100 раз меньше энергоемкости при механическом сжимающем воздействии, приводящем к аналогичному результату.

Наибольший эффект ИЭМО возникает при обеспечении условий резонанса, когда частотные характеристики внешнего поля соответствуют собственным частотным спектрам руды. Для реализации ИЭМО, обеспечивающей высокую степень разупрочнения руды либо растрескивание в частицах концентрата в процессе выщелачивания, созданы специализированные установки, которые могут формировать импульсное воздействие резонансного характера. Так, при средней потребляемой мощности 1 кВт при производительности 10 — 20 т в час импульсная мощность воздействия составляет до 100 кВт.

При использовании ИЭМО следует учитывать следующую особенность. Развитие трещин, обусловленных ИЭМО, характеризуется возникновением квазиустойчивых остаточных механических напряжений, которые могут релаксировать во времени под влиянием внешних воздействий (слабые механические нагрузки, температурные воздействия и т.п.). Это может привести к снижению эффекта разупрочнения. Поэтому применение ИЭМО целесообразно непосредственно перед помолом в мощных промышленных мельницах, где имеются ударные нагрузки, либо в процессе извлечения методами выщелачивания, когда растворы обладают хорошим расклинивающим эффектом. При использовании ИЭМО в лабораторных исследованиях с применением лабораторных мельниц либо при неточном лабораторном моделировании процесса выщелачивания эффект ИЭМО значительно снижается.

Кроме того, известен эффект интенсификации химических реакций при электромагнитном воздействии, что способствует процессу выщелачивания при ИЭМО. Также межзеренное растрескивание должно способствовать повышению эффективности магнитной сепарации, гравитации, флотации.

В настоящий момент апробированы два вида технологии с использованием ИМП: низкочастотная импульсная электромагнит-

ная обработка, характеризуемая длительностью импульса 10^{-3} — 10^{-5} с и величиной импульсного напряжения менее 10^3 В, эффективность которой проверена на железистых кварцитах [11]; высокочастотная ИЭМО с длительностью импульса 10^{-5} — 10^{-8} с и импульсным напряжением до 10^4 В целесообразна для золото-содержащих упорных руд [12].

Использование ИЭМО эффективно как при обработке магнитных руд (железистых кварцитов) [11], так и немагнитных (золотосодержащих кварцитов, сульфидных и карбонатных руд) [12]. Применение ИЭМО при обработке магнитных руд является закономерным процессом в силу наличия высокой магнитной восприимчивости руды и протекания при этом известных эффектов преобразования магнитной энергии в механическую (магнитострикция). Механизм преобразования энергии импульсных магнитных полей в механическую работу при ИЭМО для немагнитных поликристаллов недостаточно изучен. В настоящей работе сделана попытка проанализировать возможные механизмы разупрочнения магнитных и немагнитных материалов и оценить требуемые параметры импульсного магнитного поля (ИМП).