

СПОСОБ ПОДГОТОВКИ К ОБОГАЩЕНИЮ ВЫСОКОПРОЧНЫХ РУД

Тажибаев К.Т., Султаналиева Р.М., Акматалиева М.С., Тажибаев Д.К.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, г.Бишкек, Кыргызстан

Обоснован способ разупрочнения крепких руд и минералов перед измельчением и обогащением, позволяющий уменьшать энергоёмкость измельчения и увеличить извлечения металла.

Justified way of softening of hard ores and minerals prior to milling and processing operations, allowing to reduce energy consumption and increase the grinding of metal extraction.

В процессе рудоподготовки механическое измельчение руды до размера частиц порядка десятков микрометров, необходимое для дальнейшей флотации, является наиболее энергоёмким и дорогостоящим процессом в технологической цепи извлечения полезных компонентов (металлов, минералов). При этом КПД процесса механического измельчения составляет порядка 2 %, остальная 98 % приложенной для разрушения руды энергии рассеивается в виде диссипативных потерь (энергия теплоты, звука, колебаний окружающей среды). Известно, что при мировом объеме переработки руд 41 млрд. т. в год (в РФ около 4 млрд.т.) на измельчение ежегодно затрачивается порядка 2 млрд. долларов США (в РФ – 6 млрд. рубль). Отсюда ясно практический интерес к

разработкам новых способов разрушения или разупрочнения руд и минералов, новых энерго и ресурсосберегающих технологий измельчения руд.

Эффективное обогащение крепких полиминеральных руд обеспечивается при применении двух принципиально разных способов разрушения. Первый из них основан только на механическом разрушении, требующем создания специальных измельчителей руд со значительной единичной мощностью. В настоящее время, данное направление встречает ряд затруднений, например, как указано выше, большая часть энергии при механическом измельчении теряется. Во втором способе до механического разрушения используется предварительное снижение прочности

(разупрочнение) пород путем воздействия на руды или минерал тем или иным видом энергии.

Повышение производительности обогащения, эффективности измельчения связано с изысканием эффективных методов разупрочнения, особенно крепких руд. В связи с этим большое практическое значение приобретает различные способы разупрочнения высокопрочных руд и минералов путем воздействия на них физическими полями.

Из всех применяемых, для изменения прочности горных пород, видов энергии в настоящее время считается наиболее эффективным энергия сверхвысокочастотного электромагнитного поля (СВЧ).

В связи с этим нами проведены экспериментальные исследования энергоемкости измельчения горных пород и руд с целью управления их прочностными свойствами путем воздействия на них сверхвысокочастотными электромагнитными волнами - СВЧ облучением.

Известно, что при воздействии СВЧ волнами на руду содержащий минералы металлов (пирит, никелит, магнетит и т.д.) и минералы пустой породы (кварц, кальцит, и т.д.) в первых минералах происходит поглощение энергии СВЧ облучения в значительно большей степени с большими потерями в диапазоне СВЧ облучения, чем во вторых минералах. Поэтому в СВЧ поле рудные минералы нагреваются, а пустая порода в начале остается холодной. Неравномерное нагревания приводит к появлению термомеханических напряжений и микротрещин в минералах пород, а также формированию остаточных напряжений, которые в свою очередь тоже обуславливают изменение прочности.

Известен способ разрушения горных пород путем облучения двумя генераторами СВЧ волн [1]. Сначала массив породы облучают волнами меньшей энергетической плотности (150-300 Вт/см²) от первого генератора до образования теплового следа, а затем - волнами большей плотности (300-5000 Вт/см²) от второго генератора, идущими в перпендикулярном направлении. Первое облучение создает в породе нагретую зону с повышенным значением мнимой составляющей диэлектрической проницаемости. Для лучей (излучения) второго генератора указанная зона является сильно поглощающей, тогда как не нагретая часть становится прозрачной для электромагнитной волны. В результате мощность второго генератора поглощается в основном в зоне пересечения облучений. Резкий нагрев зоны пересечения приводит к тепловому расширению, фазовым превращениям, образованию газовой фазы и т.д. в этой области, что ведет к разрушению породы. Перемещая антенну второго генератора над поверхностью массива вдоль теплового следа, можно создавать канал разрушенной породы или резать ее. Этим способом, с использованием генераторов на частоте 2,4 ГГц, разрушались кристаллические сланцы, амфиболиты, габбро-

диабазы, граниты, песчаники и другие породы. Объем разрушаемой породы в секунду составлял 180-250 см³.

В другой работе [2] приведены результаты проведенных экспериментов по измельчению и ситовому анализу проб железных руд, нагреваемых СВЧ полем до 300⁰С (плотность потока мощности 3560 Вт/см², время облучения 3 мин), а также нагреваемых в муфельной печи до той же температуры, и проб не подвергнутых тепловой обработке. Результаты исследований показали, что в продукте измельчения руды нагретой в печи, по сравнению с контрольным (исходный) образцом, выход классов мельче 0,1 мм существенно не изменился, а в нагретой СВЧ полем пробе выход увеличился. Так, выход класса 0,074 мм увеличился на 6-10%. Крупные классы руды, нагретой в печи, оказались, размолоты более эффективно - в них возросло содержание средних фракций. При СВЧ нагреве до той же температуры, что и в печи, это различие проявляется в большей мере. Аналогичные зависимости были получены и на пробах руды, нагревавшихся до других температур - от 80 до 450⁰С. Выявленные преимущества СВЧ нагрева по сравнению с печным связываются с селективностью воздействия СВЧ поля на минералы и раскрытием зерен по плоскостям спайности. Измельчение руды, обработанной СВЧ полем в разных режимах, показало, что с увеличением времени воздействия содержание классов мельче 0,16 мм в продукте измельчения закономерно возрастает. При этом для контрольного и обработанного продуктов различие по классу 0,074 мм достигает 25%. Наиболее полное раскрытие для данной руды достигается в классе - 0,05 мм, что подтверждено данными, полученными при изучении под микроскопом. Обработка руды в потоке СВЧ волн - мощности 35 Вт/см² в течение 1-10 мин позволяет повысить производительность мельницы по крупности 10 - 0,05 мм на 60%. Увеличение потока мощности дает возможность достичь тех же результатов при меньшем времени обработки.

Недостатки указанных способов подготовки руд состоит в том, что в них не предусмотрено точное определение оптимальной продолжительности воздействия на руду СВЧ волнами. Наши исследования показали, что длительные воздействия СВЧ волн могут привести, наоборот, к увеличению прочности (к упрочнению), а не достаточно продолжительное воздействие волн - к не существенным структурным изменениям, в результате чего не обеспечивается разупрочнение и уменьшение энергоемкости измельчения руд. Действительно, результаты исследований указывают на необходимость подбора оптимального режима СВЧ - обработки для каждого конкретного вида минерала, руды, горной породы. Случайно выбранный режим воздействия СВЧ - полем может не дать положительного результата.

Следует отметить, что длительность воздействия СВЧ волн определяет не только эффект разупрочнения или упрочнения, но и количество потребляемой энергии. Задачей исследований является установление оптимальной продолжительности воздействия, обеспечение снижения энергоемкости измельчения руд и минералов, уменьшение износа металлических частей мельниц и увеличение выхода полезных компонентов при их извлечении из руд и минералов.

Нами на основе экспериментальных исследований обоснован способ подготовки высокопрочных руд к обогащению, основанный на воздействии на руду или минерал до измельчения СВЧ волнами в течение оптимального времени, устанавливаемого экспериментально для каждого измельчаемого материала [3]. По предлагаемому способу отбирают пробу руды, из которого изготавливают навески, то есть куски со средним размером 2 см по 25 штук для каждого режима СВЧ воздействия. Опыты для каждого режима повторяются 5 раз.

В одном опыте измельчается по 5 кусков руды свободно падающим грузом по известной методике определения коэффициента крепости по толчению [4].

Для обеспечения представительности данных из рудного месторождения отбирают по одной пробе руды из каждого места, в котором нужно определить показатели измельчения, и чтобы из пробы можно было получить не менее 30 навесок по 5 кусков каждая. Навески должны состоять из 5 кусочков размером в 20-25 мм в поперечнике каждый, которые получают, раскалывая отобранные куски. Для каждого отдельного определения используется, как указано выше, 5 навесок. Полученные этим методом данные, отличаются сравнительно невысоким коэффициентом вариации равным в среднем 10-15%. Поэтому для получения надежной средней величины коэффициента крепости и удельной энергоемкости измельчения производится по 5 определений для каждой продолжительности СВЧ воздействия на одной и той же пробе породы. [3].

Для определения коэффициента крепости разработан специальный прибор ПОК (прибор для определения крепости), состоящий из трубчатого копра, измерителя мелкой фракции. Каждая отдельная навеска дробится в стакане вертикально трубчатого копра прибора ПОК гирей массой 2,4 кг, сбрасываемой с высоты 600мм. В случае необходимости изменение величины работы разрушения при толчении целесообразно производить только варьированием числа ударов падающей гири по навеске. Вес гири и высоту ее сбрасывания следует оставлять постоянным. Получавшаяся после толчения мелочь высыпается из стакана копра на сито с отверстиями 0,5мм, и 5 навесок, раздробленных по отдельности в копре прибора, просеивается. Фракция размером мельче 0,5мм

(прошедшая через сито с этим размером) собирается и насыпается в стакан объеммера диаметром 23 мм, при помощи которого определяется высота столбика этой пылевой фракции. Величина коэффициента крепости исследуемой горной породы вычисляется по отношению затраченной на дробление работы к вновь образованной поверхности по эмпирической формуле М.М. Продьяконова (младший) [4].

По предлагаемому способу [3] с использованием прибора ПОК величина удельной энергоемкости измельчения руды - K определяется при разных величинах длительности СВЧ воздействия по предложенной нами формуле:

$$K = \frac{nE_i}{V} \quad (1) \quad \text{или} \quad K = \frac{n \cdot mgh}{Sl} \quad (2)$$

где E_i - энергия единичного удара; V - объем фракции с размером менее 0,5 мм; m - масса свободно падающего груза; g - ускорение свободного падения; n - число ударов свободно падающего груза по одной навеске; l - высота столбика пыли в объеммере, мм; h - высота падения груза; S - площадь сечения объеммера.

По полученным пяти значениям удельной энергоемкости измельчения руды определяется среднеарифметическое значение.

Исследованиями установлено, что вновь образованная при дроблении хрупкого материала поверхность складывается в основном (примерно на 90%) из поверхности мельчайших кусочков величиной менее 0,5 мм. Поэтому для значительного упрощения метода после дробления определяется поверхность только мелких фракций - менее 0,5 мм - то есть величина высоты столбика пыли в объеммере при этом пропорциональна вновь образованной поверхности полученных при дроблении кусочков [4].

В соответствии с предложенным способом [3], по данным определения удельной энергоемкости измельчения навесок руд для исходного состояния и для разных величин длительности СВЧ воздействия, по данным графика зависимости «удельная энергоемкость измельчения - продолжительность времени воздействия СВЧ волн», (рисунок 1,2,3) устанавливают оптимальное значение продолжительности времени воздействия СВЧ волн. Оптимальное время воздействия соответствует минимальному значению удельной энергоемкости измельчения данной руды. Далее установленное оптимальное значение продолжительности времени воздействия СВЧ волн принимают для обработки всей руды данного типа и размера кусков, подлежащих к измельчению.

Как видно из рисунков 1,2,3 оптимальное значение времени воздействия СВЧ волн для диорита (месторождение Токтозан), филлита серого (рудник Кумтор) составляет 3 минуты, а

для кварца (рудник Восточный Коунрад) – 5 минут.

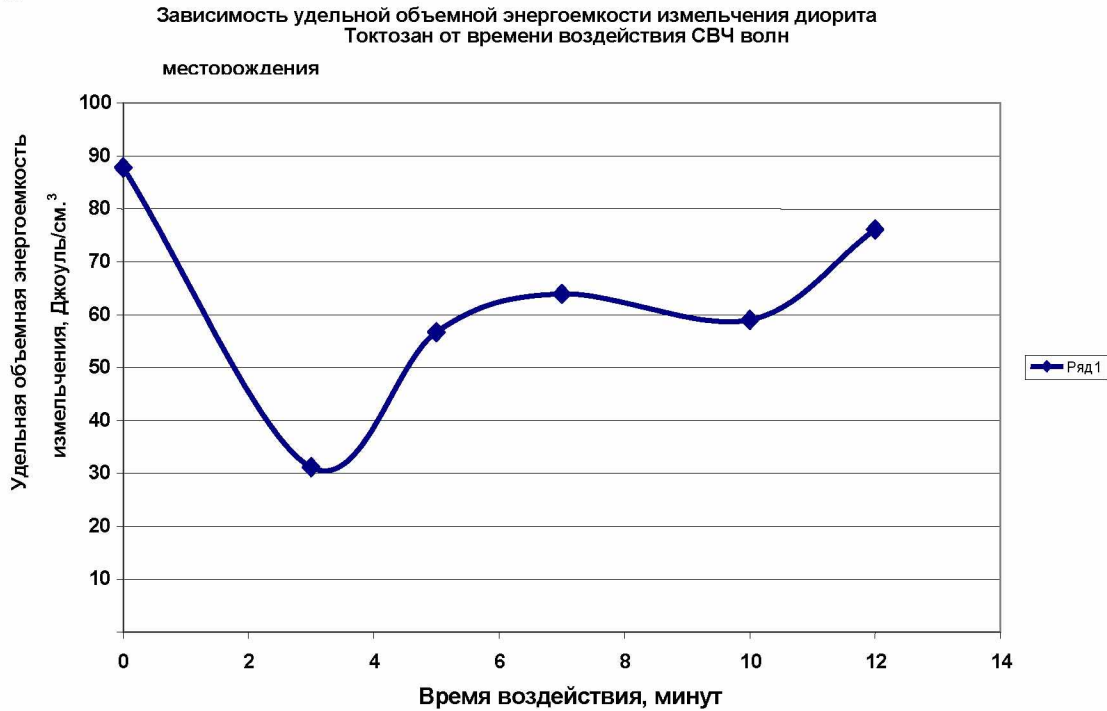


Рисунок 1 – Зависимость удельной энергоёмкости измельчения руды от времени воздействия СВЧ волн (месторождение Токтозан).

Для облучения используется СВЧ - печь (микроволновая печь). Использовалась уровень мощности – 700 Вт. Частота микроволн – 2450 МГц. Полезный объем печи составляет 0,03 м³.

Образцы руд навесками по 200–250 г и средними размерами 20-25 мм помещались вовнутрь печи и облучались СВЧ - импульсами.

График зависимости удельной энергоёмкости разрушения от времени СВЧ облучения (филлит серый, Кумтор)

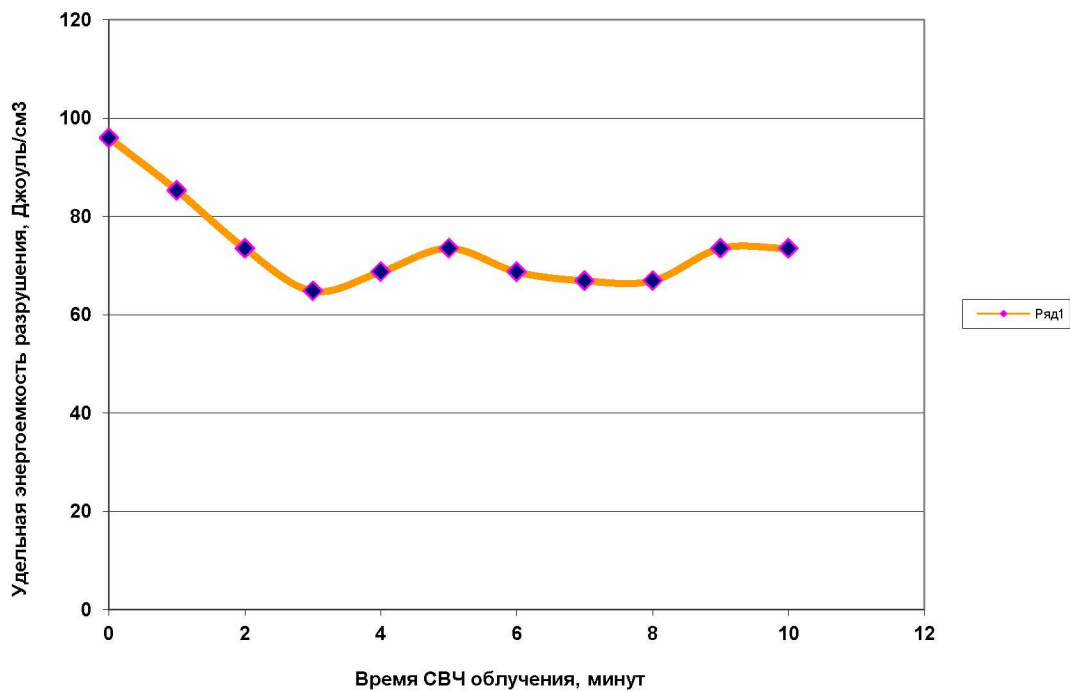


Рисунок 2 – Зависимость удельной энергоёмкости измельчения руды от времени воздействия СВЧ волн (месторождение Кумтор).

Зависимость удельной объемной энергоёмкости измельчения кварца (Восточный-Коунрад, обр.7, ПК298+50) от времени воздействия СВЧ волн

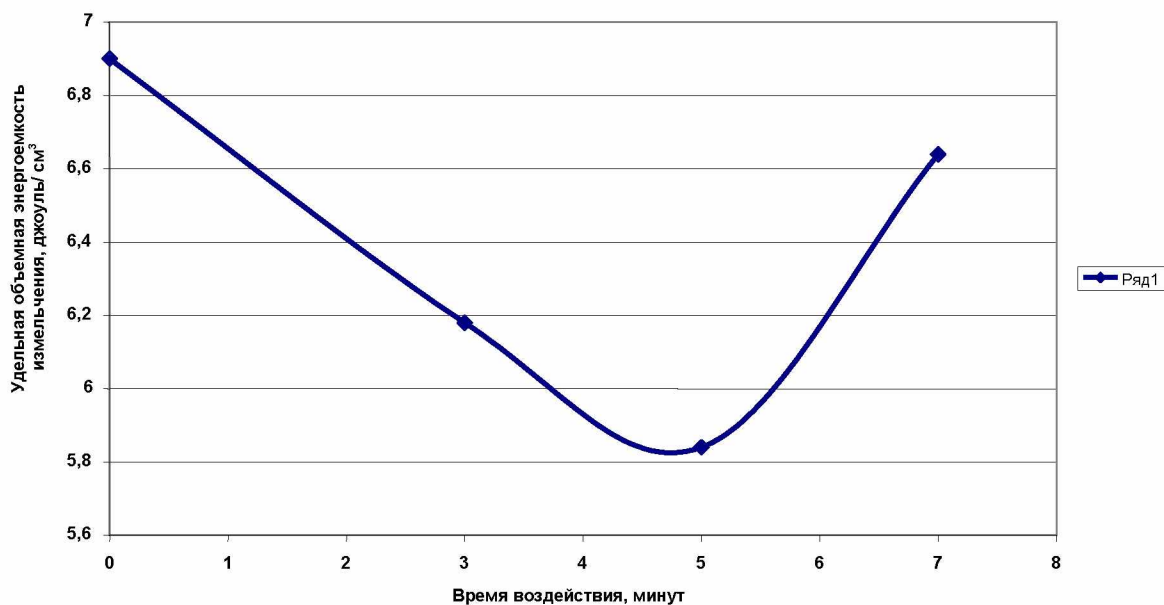


Рисунок 3 - Зависимость удельной энергоёмкости измельчения руды от времени воздействия СВЧ волн (месторождение Восточный - Коунрад).

Первоначально определяется исходные данные, т.е. коэффициент крепости по толчению и удельно-объемная энергоёмкость измельчения исходного (не облученного) состояния руды. Затем такие же куски из руды подвергаются воздействию СВЧ волн в микроволновой печи. Режим выдержки в печи следующее: от одного до девяти минут через интервал 1 минуты, а в некоторых случаях от одного до двадцати минут через каждые 2-5 минут.

Следует отметить, что экономия энергии на помол при предварительном воздействии СВЧ волнами должно не только компенсировать энергозатраты на нагрев при предварительном СВЧ воздействии, но и обеспечить существенную экономию энергии. При этом также обеспечивается уменьшение расхода металла за счет уменьшения износа металлических частей мельницы, увеличение выхода полезного компонента (извлекаемого металла) за счет улучшения раскрываемости минеральных зерен, так как при оптимальной продолжительности воздействия на руду СВЧ волнами происходит существенное разупрочнение руды (прочность и удельная энергоёмкость измельчения уменьшается до 2 - 2,5 раза).

Например, как показывают наши опыты и расчеты, для диорита месторождения Токтозан удельная энергоёмкость измельчения в исходном состоянии составляет 87 Дж/см^3 , а после 3 минуты воздействия СВЧ волн – 30 Дж/см^3 (рис. 1). Расход энергии при мощности печи $0,7 \text{ кВт}$ и в течение 3 минуты составляет $0,7 \cdot 0,05 \text{ ч} = 0,035 \text{ кВт час}$ или $35 \text{ Вт час} \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 126000 \text{ Дж}$. При полезном объеме печи 30000 см^3 удельный расход энергии на 3 минутное СВЧ облучение

составляет $126000 / 30000 = 4,2 \text{ Дж/см}^3$. С учетом расхода энергии на СВЧ облучение общая удельная энергоёмкость измельчения составляет $30 + 4,2 = 34,2 \text{ Дж/см}^3$. Таким образом, экономия энергии при оптимальном СВЧ облучении, по сравнению с необлученным (исходным) состоянием, составляет $87 - 34,2 = 52,8 \text{ Дж/см}^3$, или экономия энергии при измельчении диорита после СВЧ облучения составляет $60,7\%$.

Следует отметить, что чем больше неоднородность руды, тем больше эффект разупрочнения и экономия энергии при измельчении после оптимального режима СВЧ облучения, так как неоднородность вещественного состава и структуры приводят к неоднородному нагреванию, формированию термонапряжений и благоприятных растягивающих остаточных напряжений, обуславливая образования микротрещин.

Литература

1. Москалев А.Н. и др. Способ разрушения горных пород электромагнитными волнами. Авт. св. СССР № 724731, кл. E21C 37/18, 1977г.
2. Абкин Е.Б. и др. Измельчение руд с применением электромагнитной энергии СВЧ. // Обогащение руд. Ленинград, 1986, № 6, с 2-5.
3. Тажибаев К.Т., Султаналиева Р.М., Акматалиева М.С., Тажибаев Д.К. Способ измельчения руд и минералов / Патент Кыргызской Республики: №1503, зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Кыргызской Республики 31.10. 2012г.
4. Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения. -М.:Недра. -1969. -452с.