

П.Н. ЩЕРБАКОВ, канд. техн. наук, доц.,
ГВУЗ «НГУ», Днепропетровск

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДРОБЛЕНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТВЕРДЫХ ПОРОД

Выполнены теоретические и лабораторные исследования способа дробления пород при совместном воздействии на них механической нагрузкой и электрическим полем УВЧ. Рассмотрены физические процессы, возникающие при этом в кристаллах кварца, сделан вывод о перспективности резонансного дробления и измельчения железных руд. По результатам исследований разработана конструкция дробилки, новизна которой защищена патентом Украины.

В национальном горном университете на уровне изобретения разработан способ дробления кварцесодержащих пород, например, железных руд, предусматривающий совместное использование механической нагрузки и электрического поля УВЧ [1].

Железная руда, как известно, представляет собой сложную по составу среду с поликристаллической структурой, поэтому ее электромагнитные свойства определяются совокупными свойствами составляющих кристаллов.

Ограничимся первым приближением, считая, что среда состоит только из кристаллов кварца, а каждое зерно обладает электрической осью (пьезоосью). Это дает возможность учесть прямой и обратный пьезоэффекты. Кварц относится к ионным кристаллам, поэтому любой его атом или ион может одинаково сильно взаимодействовать со всеми соседними атомами или ионами, в связи с чем весь кристалл можно рассматривать как отдельную молекулу. С другой стороны, каждый кристалл кварца обладает набором резонансных частот. Принятое допущение позволяет использовать модель гармонического осциллятора. Под влиянием электромагнитного поля и механической нагрузки осциллятор совершает вынужденные колебания и становится эквивалентным электрическому диполю, момент которого пропорционален напряженности электрического поля и силе приложенной механической нагрузки.

Уравнение гармонического осциллятора имеет вид [2, 3]:

$$M(\bar{r})'' + M\gamma(\bar{r})' + M\omega_0^2\bar{r} = \bar{F}_{\text{вн}}, \quad (1)$$

где \bar{r} – относительное смещение кристаллических решеток положительных и отрицательных ионов; γ – коэффициент трения; $\bar{F}_{вн}$ – внешняя вынуждающая сила; ω_0 – собственная круговая частота колебаний осциллятора; M – приведенная сила ионов.

Это векторное уравнение можно представить системой трех скалярных уравнений по каждой координатной оси. Направим ось Oy вдоль линии действия механической силы и ограничимся анализом деформации кристалла по этому направлению, используя соответствующее уравнение системы:

$$My'' + M\gamma y' + M\omega_0^2 y = F_{вн}. \quad (2)$$

При совместном воздействии электромагнитного поля и механической нагрузки на кристалл кварца возникают следующие три силы: механическая F , сила, обусловленная прямым пьезоэффектом $F_{np} = \alpha_1 EF$ и сила, вызванная обратным пьезоэффектом $F_{об} = \alpha_2 E$. В этой модели не учитываются электрострикционные силы, т.к. они квадратичны по полю. Выразим $F_{вн}$ через сумму указанных сил, тогда:

$$My'' + M\gamma y' + M\omega_0^2 y = \alpha_1 EF + \alpha_2 E, \quad (3)$$

где E – напряженность электрического поля; α_1, α_2 – коэффициенты пропорциональности.

Если электрическое поле, действующее на кристалл, меняется синусоидально во времени, то $E = A_0 \cos \omega t$, где A_0 – амплитуда колебаний электрического поля; ω – круговая частота колебаний.

Механическая сила равна:

$$F = P \nu t, \quad (4)$$

где P – величина прикладываемой механической нагрузки; ν – скорость нагрузки.

С учетом изложенного, уравнение гармонического осциллятора приобретает вид:

$$My'' + M\gamma y' + M\omega_0^2 y = F_1 t \cos \omega t + F_2 \cos \omega t + F_3 t, \quad (5)$$

где $F_1 = \alpha_1 A_0 P \nu$; $F_2 = \alpha_2 A_0$; $F_3 = P \nu$.

Ограничимся случаем слабого затухания (при $\gamma \ll \omega_0$), на основе чего получим следующее решение данного уравнения:

$$y = (F_1 t + F_2) \frac{D_1}{M_2} \cos \omega t + (F_1 t + F_2) \frac{D_2}{M} \sin \omega t + \frac{F_3}{M \omega_0^2} t, \quad (6)$$

$$\text{где } D_1 = \frac{\omega_0^2 - \omega_2}{(\omega_0^2 - \omega_2)^2 + \gamma^2 \omega^2}; \quad D_2 = \frac{\gamma \omega}{(\omega_0^2 - \omega_2)^2 + \gamma^2 \omega^2}.$$

Энергия, накопленная осциллятором равна сумме его кинетической и потенциальной энергий:

$$E = \frac{1}{2} M (y')^2 + \frac{1}{2} M \omega_0^2 y^2. \quad (7)$$

Подставим в это выражение функцию y и ее производную y' , после чего оставим только неосциллирующую часть, а слагаемые более высокого порядка отбросим. В результате указанных преобразований определим энергию, которую накапливают кристаллы кварца при совместном их нагружении механической нагрузкой и электрическим полем УВЧ:

$$E_{совм} = \frac{D_3}{4M} (F_1 t + F_2)^2 + \frac{F_3^2 t}{2M \omega_0^2}, \quad (8)$$

$$\text{где } D_3 = \frac{\omega_2 + \omega_0}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2}.$$

Исследуя последнее выражение на экстремум, находим:

$$\omega = \sqrt{2\omega_0^2 \sqrt{1 - \gamma^2 / 4\omega_0^2} - \omega_0^2}. \quad (9)$$

Отсюда следует, что при принятом условии $\gamma \ll \omega_0$ резонанс будет иметь место, если $\omega = \omega_0$.

В случае чисто механической нагрузки $E_{\text{мех}} = \frac{F_3^2 t^2}{2M\omega_0^2}$, тогда:

$$E_{\text{совм}} - E_{\text{мех}} = \frac{D_3}{4M} (F_1 t + F_2)^2 > 0 \text{ или } E_{\text{совм}} > E_{\text{мех}}. \quad (10)$$

Это означает, что все кристаллы кварца при совместном воздействии на них механической нагрузкой и электрическим полем УВЧ накапливают энергии больше, чем при чисто механической нагрузке в том же режиме нагружения. Причем, этот эффект проявляется наиболее сильно при резонансе. Доля энергии, обусловленная механической нагрузкой, составляет только часть критической энергии разрушения, поэтому разрушающая механическая нагрузка существенно уменьшается.

Интенсификацию дробления можно объяснить статистической теорией разрушения, согласно которой в среде с увеличением энергии поглощения растет число «ослабленных» мест, в которых зарождаются трещины, а значит увеличивается количество отдельностей, образующихся при ее делении, что приводит к уменьшению их размеров.

С целью проверки и уточнения сделанных выводов проведена серия лабораторных испытаний на образцах железной руды Полтавского ГОКа. Установлено, что они имеют резонанс на частотах от 41,5 до 43 МГц при центральной частоте резонанса 42,3 МГц. Вызывает интерес то, что резонансная частота образцов с последовательно включенной индуктивностью 0,5 МкГн равна 24,5 МГц, причем резонансные свойства на этой частоте проявляются сильнее. С целью обеспечения таких частот в НПО «Вега» (г. Москва) разработан и изготовлен генератор УВЧ с регулируемой частотой от 20 до 50 МГц и максимальной выходящей мощностью 150 Вт.

В условиях учебно-производственной мастерской университета изготовлен экспериментальный образец щековой дробилки, позволяющей дробить куски породы произвольной формы с максимальными размерами 60 – 80 мм и степенью дробления 4 – 5. Эта дробилка с подключенным к ней генератором УВЧ реализует способ механического нагружения совместно с электрическим полем резонансной частоты.

Железная руда сравнительно одинакового состава разделялась попарно на куски произвольной формы массой 150 – 200 г. Один образец из такой пары разрушался только механической нагрузкой, второй – совместно с полем УВЧ.

Раздробленные куски руды рассеивались по следующим классам: 10, 7, 5, 2, 1 мм, выход каждой фракции устанавливался взвешиванием, а удельная энергоёмкость дробления определялась отношением измеренной энергоёмкости к суммарной массе по соответствующему циклу испытаний.

Результаты статистической обработки полученных данных приведены в таблице.

Таблица – Результаты статистической обработки данных

Основные показатели	Распределение в % отдельных фракций дробления, мм						Удельная энергия дробления, МДж/т
	0 – 1	1 – 2	2 – 5	5 – 7	7 – 10	+ 10	
Без УВЧ	1,3	1,1	3,4	2,1	3,1	89,0	12,94
С УВЧ	2,9	2,1	5,3	2,6	3,1	84,0	10,19
В % к дроблению без УВЧ	223,1	190,9	155,9	123,8	100	94,4	79

Из приведенной таблицы следует, что применение резонансного электрического поля позволило уменьшить удельную энергоёмкость дробления на 21 %, снизить выход крупных фракций на 5,6 %, а выход мелких фракций увеличить вдвое.

Разработана конструкция щековой дробилки [4], позволяющая одновременно использовать механическую нагрузку и электрическое поле УВЧ.

В перспективе целесообразно продолжить исследования по изысканию путей практического применения способа в производственных условиях, позволяющего снизить энергозатраты на дробление и измельчение железных руд.

Список литературы: 1. А.с. 1659100, МКИ В 02 С 19/18. Способ дробления кварцесодержащих пород / *Р.С. Крысин, П.Н. Щербаков* (СССР). – № 4467933-331016004; заявл. 27.01.89; опубл. 30.06.91. Бюл. № 24. 2. *Пейн Г.* Физика колебаний и волн / *Г. Пейн*. – М.: Мир, 1979. – 389 с. 3. *Крауфорд Ф.* Волны / *Ф. Крауфорд*. – К.: Наука, 1976. – 527 с. 4. Пат. 49876 Украина, МПК В 02 С 19/18. Дробарка / *Крисин Р.С., Щербаков П.М., Арсентьев В.О.* – № 93006556; заявл. 09.04.03; опубл. 30.06.91. Бюл. № 6.

Поступила в редколлегию 20.08.12

УДК 622.73

Теоретические предпосылки интенсификации дробления и измельчения твердых пород / П.Н. ЩЕРБАКОВ // Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 59 (965). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 151 – 156. – Бібліогр.: 4 назв.

Виконані теоретичні і лабораторні дослідження способу дроблення порід при спільній дії на них механічним навантаженням і електричним полем УВЧ. Розглянуті фізичні процеси, що виникають при цьому в кристалах кварцу, зроблений висновок про перспективність резонансного дроблення і здрібнювання залізних руд. За результатами досліджень розроблена конструкція дробарки, новизна якої захищена патентом України.

Theoretical and laboratory researches of the rock crushing method have been performed along with affecting the rock by mechanical loading and electric field UHF. Physical processes arising up inside the quartz crystals are considered and conclusion regarding prospects of the iron ores resonant crushing and grinding has been drawn. As a result of researches performed, the mechanism of the crusher has been developed and the patent of Ukraine protects its novelty.

УДК 691.22:006

АХМЕД АБДУЛЬСАХИБ АБДУЛЬ АМЕР, асп., ХНАГХ, Харків

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОКРАШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ К АТМОСФЕРНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Проведены экспериментальные исследования по определению устойчивости окрашенной поверхности фасадов на атмосферные воздействия. Представлены зависимости соотношения вертикальных и горизонтальных осадков от их интенсивности и скорости ветра; зависимости угла между наветренной вертикальной поверхностью фасада здания и направлением падения дождевых капель от скорости ветра и интенсивности осадков. Установлена связь между среднемесячными вертикальными и горизонтальными осадками в зависимости от скорости ветра.

Актуальность данной темы. Одним из основных факторов атмосферного воздействия на стены фасадов являются осадки различной интенсивности и продолжительности. Косые дожди являются одной из причин нарушения окрасочного состава фасадов зданий и отрицательно влияют на колористику городской среды.

Для учета неблагоприятного действия косых дождей на стены фасадов, кроме данных об общем распределении, интенсивности и продолжительности осадков ставилась задача определить, какое количество воды попадает на вертикальные поверхности фасадов. Согласно данных выполненных исследований [1 – 4] расчетным путем получены количественные характеристики осадков, выпадающих на вертикальные стены фасадов при различных условиях увлажнения и ветрового режима.

© Ахмед Абдульсахиб Абдуль Амер, 2012