

УДК 622

В.Н. Кононенко, К.В. Халкечев

РЕЗОНАНСНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ДРОБЛЕНИИ И ИЗМЕЛЬЧЕНИИ

Рассмотрен механизм возникновения резонансного разрушения при дроблении горных пород и материалов, открывающий новые возможности в разработке методов и средств дробления и измельчения горных пород и материалов.

Ключевые слова: горное производство, измельчение горных пород и материалов, резонансное разрушение, дробильные машины.

3 начительная часть бюджета России формируется за счет доходов от горного производства. Требования рынка диктуют снижение себестоимости добычи полезных ископаемых, что должно повысить конкурентоспособность России на мировом рынке в данной отрасли производства. Этим обуславливается одна из главных задач горной науки – разработка и внедрение новых технологий добычи и обогашения полезных ископаемых, которые существенно снижают энергоемкость, издержки и потери в производстве.

В условиях современного горного производства и обогашения полезных ископаемых, характеризующихся неуклонным ростом мощности предприятий, интенсификацией производственных процессов особо важное значение приобрела проблема дробления и измельчения горных пород и материалов. Дробление и измельчение – самые распространенные процессы в промышленности, на них приходится почти четверть всей вырабатываемой на планете электроэнергии. Использование агрегатов измельчения в различных областях производственной деятельности за последние

два года увеличилось на 12,5%. Проблемы измельчения горных пород и материалов особенно остро стоят перед предприятиями горнорудной и химической промышленности, строительной отрасли и сельского хозяйства. Так в горнорудной промышленности до 45% всей потребляемой электроэнергии расходуется на дробление и измельчение, а в химической промышленности на эти цели используется 60% от всей потребляемой энергии.

Об актуальности указанной проблемы свидетельствуют важнейшие отраслевые научно-технические программы горного дела, вошедшие в «План фундаментальных исследований по Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации на период 2007/2009 годы» и в «Перечень критических технологий Российской Федерации» в рамках которых выполнялась работа.

Следует отметить что, несмотря на значительные достижения отечественных и зарубежных ученых в этой области, принятые технические решения не обеспечивают рациональную организацию процессов дробления и измельчения.

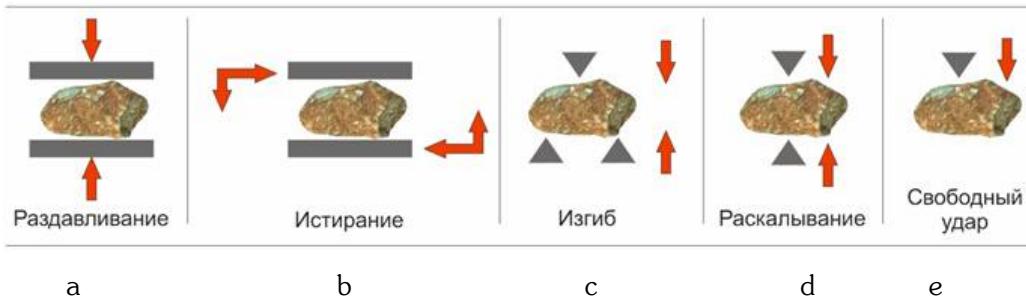


Рис. 1. Различные способы дробления и измельчения: а)-раздавливание; б)-измельчение истиранием; в)-изгиб; г)-раскалывание; е)-дробление ударом

В этой связи возникла необходимость в разработке новых способов дробления и измельчения горных пород и материалов.

В настоящее время в основном применяют пять способов разрушения при дроблении и измельчении - раздавливание, истирание, изгиб, раскалывание и удар, которые схематически изображены на рис. 1.

Обычно в дробильных машинах или мельницах, разрушение твердого тела происходит несколькими способами в результате комбинированного воздействия, но преобладающим является один или два способа. Механизм разрушения твердых тел вышеперечисленными способами достаточно хорошо изучен, однако, при дроблении материала часто возникает резонансный режим разрушения, приводящий к наиболее оптимальному способу разрушения.

Рассмотрим механизм возникновения резонансного разрушения при дроблении горных пород и материалов. Влияние ускорений точек упругого тела на напряжённое состояние дробимого материала может быть учтено следующим образом. Если какое-либо тело движется с ускорением, то это значит, что на него передаются (к нему приложены) силы (давления) от других тел; по закону равенства действия и противодействия оно переда-

ет на эти тела равные приложенными силам и противоположно направленные реакции, называемые силами инерции. Это рассуждение применимо также и к каждому элементу движущегося с ускорением тела; этот элемент будет передавать на прилегающие части материала усилия, равные силе инерции этого элемента.

Таким образом, при ускоренном движении возникают добавочные вполне реальные напряжения, которые эквивалентны статическим напряжениям, вызванным силами инерции; от каждого элемента дробимой частицы на соседние части материала будут передаваться такие напряжения, как будто бы к ней была приложена соответствующая сила инерции. Отсюда получаем практическое правило для определения напряжений в части упругого тела, точки которого испытывают ускорения: надо вычислить эти ускорения и в дополнение к внешним силам, действующим на рассматриваемый элемент, нагрузить его соответствующими силами инерции.

Сила инерции будет вызывать напряжения и деформации, периодически меняющие свой знак. Это будут так называемые вынужденные колебания. Если период вынужденных колебаний совпадет с периодом свободных колебаний упругого тела, то

мы получим явление резонанса, при котором амплитуда (размах) колебаний будет резко расти с течением времени. Наличие сил трения, сопротивление воздуха и т. д. ограничивают на практике рост этой амплитуды; однако она может достичь очень большой величины, значительно превышающей те деформации, которые испытывало бы тепло под действием ускорений той же величины, но не меняющих знака.

Следовательно, явление резонанса, если оно длится некоторое время, а не сбивается немедленно по возникновении, ведет к постепенному росту деформаций и пропорциональных им напряжений, что может вызвать разрушение дробимой частицы.

Для определения возможности возникновения резонансного разрушения горных пород в дробильном оборудовании нами были получены зависимости собственных частот дробимых частиц различной формы, размеров, физико-механических свойств и условий нагружения [1-6]:

- собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде квадратной пластины со свободными краями:

$$p := 4.177433970 \sqrt{\frac{h^2 E}{a^4 \rho}}$$

- собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде прямоугольной пластины со свободно опретыми краями:

$$p := 5.848173152 \sqrt{\frac{h^2 E}{a^4 \rho}}$$

- собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде куба со свободными краями:

$$p := 0.8735581477 \sqrt{\frac{E}{\rho a^2}}$$

- собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде куба с жестко опретыми краями:

$$p := \frac{4.405634079}{a} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

- собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде параллелепипеда с квадратом в основании:

для высоты $c=2a$:

$$p := 0.5416910534 \sqrt{\frac{E}{\rho a^2}}$$

для высоты $c=3a$:

$$p := 0.3777772870 \sqrt{\frac{E}{\rho a^2}}$$

для высоты $c=4a$:

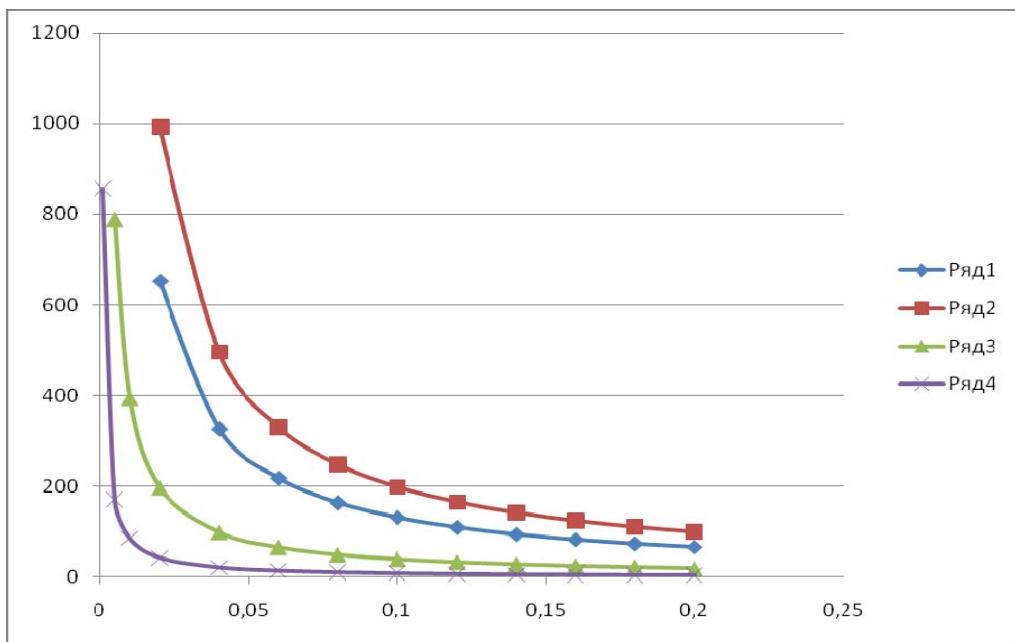
$$p := 0.2878862224 \sqrt{\frac{E}{\rho a^2}}$$

- сферически-симметричные колебания дробимой частицы в виде однородного и изотропного шара:

$$p := 0.38 \sqrt{\frac{E}{\rho R^2}}$$

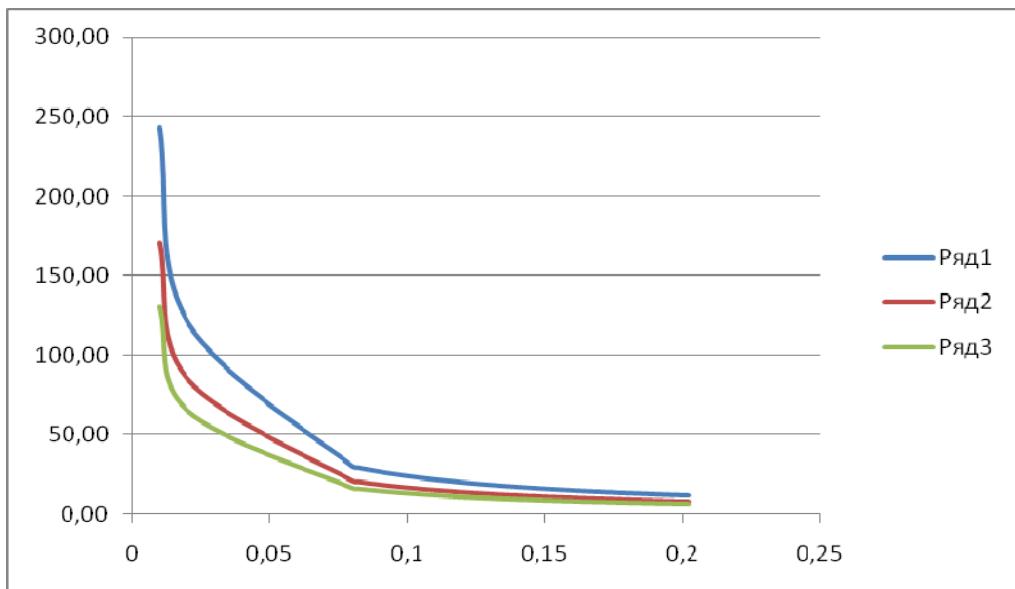
где ρ - плотность горной породы, E – модуль упругости, a – сторона квадрата, h – толщина пластины, R – радиус шара (зависимости приведены для горных пород с коэффициентом Пуассона $\nu = 0,225$)

На рис. 2 и 3 приведены графики изменения собственных частот дробимых частиц железистых кварцитов (плотность $\rho=3,3 \text{ г}/\text{см}^3$; модуль упругости $E=6,7 \cdot 10^{10} \text{ Па}$) различной формы в зависимости от размеров частицы. Как видно из приведенных графиков, собственные частоты существенно зависят от формы дробимой частицы. Чем ближе форма частицы к правильной форме шара, тем ниже собственные частоты колебаний. Также собственные частоты зависят от условий нагружения в дробильной машине – собственные частоты свободных частиц ниже, чем частоты частиц, находящихся в «зажатом» состоянии.



ось X - м; ось Y - кГц;

Рис. 2. Собственные частоты дробимых частиц железистых кварцитов: 1 - квадратная пластина со свободными краями $h=0,5a$; 2 - куб с жестко опретыми краями; 3 - куб со свободными краями; 4 - свободный шар $a=2R$



ось X - м; ось Y - кГц;

Рис. 3 Собственные частоты дробимой частицы железистого кварцита в виде свободного параллелепипеда с квадратом в основании: 1 - для высоты $c=2a$; 2 - для высоты $c=3a$; 3 - для высоты $c=4a$

Как видно из приведенных результатов теоретических исследований, реализация механизма резонансного разрушения горных пород возможна в конусных дробилках, шаровых, стержневых и вибрационных мельницах, диссембраторах и дезинтеграторах. Так, например, дезинтегратор «Горизонт» 4500МК-Ultra при частоте вращения дисков 4500 об/мин и 98 билах может создавать воздействие на дробимые частицы с частотой до 140 кГц.

Таким образом, реализация и применение механизма резонансного разрушения открывает новые возможности в разработке методов и средств дробления и измельчения горных пород и материалов и позволит вести эффективную и малоэнергозатратную технологию рудоподготовки для обогащения полезных ископаемых и производства строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононенко В.Н., Халкечев К.В. Резонансное разрушение при дроблении горных пород. Горный информационно-аналитический бюллетень №10, 2008, с. 102-104.
2. Кононенко В.Н. Собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде куба с жёстко опертыми краями. Горный информационно-аналитический бюллетень №10, 2008, с. 104-107.
3. Кононенко В.Н. Собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде параллелепипеда с квадратом в основании. Горный информационно-аналитический бюллетень №10, 2008, с. 107-112.
4. Кононенко В.Н. Собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде прямоугольной пластины со

свободно опертыми краями. Горный информационно-аналитический бюллетень №11, 2008, с. 366-373.

5. Кононенко В.Н. Сферически-симметричные колебания дробимой частицы в виде однородного и изотропного шара. Горный информационно-аналитический бюллетень №11, 2008, с. 373-376.

6. Кононенко В.Н. Собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде квадратной пластины со свободными краями. Горный информационно-аналитический бюллетень №11, 2008, с. 376-382.

7. Кононенко В.Н. Собственные колебания однородной, изотропной дробимой частицы в виде куба со свободными краями. Горный информационно-аналитический бюллетень №12, 2008, с. 301-306. ГИАБ

Коротко об авторах –

Кононенко В.Н. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, доцент кафедры Кадастра и геоинженерии КубГТУ,
Халкечев К.В. – доктор технических наук, доктор физико-математических наук, профессор каф. математики, Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

