

Общие сведения по дроблению пород и руд

Авторы статьи:

Кравцов Евгений Дмитриевич

Игнатов Владимир Иванович, генеральный директор ООО «НТ-инжиниринг, e-mail:
ignatov@ntds.ru

Содержание:

1. Существующие типы дробилок и мельниц и их назначение.	1
2. Способы разрушения зерен горных пород.	2
3. Характеристика зерновой смеси.	3
4. Классификация формы зерен.	6

1. Существующие типы дробилок и мельниц и их назначение

Дробление и измельчение горных пород и руд в больших объемах производят многие отрасли промышленности: строительная, дорожно-строительная, производство цемента, горнодобывающая, металлургическая и др. Основные назначения дробильно-измельчительной техники следующие:

- 1) получение щебня для отсыпки дорог,
- 2) получение щебня как наполнителя бетонов,
- 3) производство цемента,
- 4) измельчение каменного угля для целей обогащения и факельного сжигания,
- 5) дробление и измельчение руд металлических и неметаллических полезных ископаемых для последующего обогащения,
- 6) измельчение известняка, доломита и некоторых металлургических шлаков для производства раскислителей почв,
- 7) измельчение полупродуктов металлургической промышленности для последующего обогащения или обжига в "кипящем слое",
- 8) измельчение разных продуктов химической промышленности.

При переработке горных пород и руд используются следующие виды дробильно-измельчительной техники: **дробилки** щековые, конусные, валковые, прессвалковые, шнекозубчатые, молотковые, роторные и центробежно-ударные; **мельницы** стержневые, шаровые, самоизмельчения и полусамоизмельчения.

Щековые дробилки применяются для первичного грубого и среднего дробления руды и породы "от забоя". **Конусные** дробилки больших типоразмеров используются для среднего, а малых типоразмеров - для среднего и мелкого дробления. **Валковые** дробилки используются при малообъемном производстве для мелкого дробления и грубого измельчения руды. **Шнекозубчатые** дробилки используют для переработки высоко глинистой руды, включающей куски низкой и средней крепости, при этом крупные куски дробятся до средней и мелкой крупности. **Пресс-валковые** дробилки - относительно новая техника, впервые она

была применена для мелкого дробления и грубого измельчения алмазосодержащих кимберлитов с целью недопущения ударного разрушения алмазов. В последние годы появились попытки использовать пресс-валковые дробилки для мелкого дробления золотосодержащих и других руд.

Молотковые, роторные и центробежно-ударные дробилки и мельницы универсальны по своему назначению, они могут использоваться для крупного, среднего и мелкого дробления, а центробежно-ударные дробилки - также и для измельчения угля, руд и неметаллических полезных ископаемых.

Стержневые мельницы используются для мелкого дробления и грубого измельчения пород и руд низкой и средней крепости.

Мельницы **самоизмельчения** используются для мелкого дробления и частично - для грубого измельчения крепких руд и алмазосодержащих пород. Мельницы **полусамоизмельчения** используются с той же целью, но только для крепких руд разных полезных ископаемых, за исключением алмазных. Шаровые мельницы, пользующиеся наиболее широким распространением, служат для измельчения самых разных продуктов, в первую очередь руд различных полезных ископаемых, как металлических, так и неметаллических, а также клинкера при производстве цемента.

2. Способы разрушения зерен горных пород

Большинство традиционных видов дробильно-измельчительной техники реализуют один способ разрушения зерен руды или горной породы, а именно раздавливание. И только молотковые, роторные и центробежно-ударные дробилки реализуют другой относительно новый способ разрушения зерен породы, который получил название "свободного удара".

"Свободный удар" в свою очередь реализуется двумя несколькими различными вариантами. В молотковых и роторных дробилках разрушение кусков породы происходит в результате их соударения с

движущимся ударником (биллом). Такой способ разрушения предложено называть "кинетическим ударным дроблением" (Барон Л.И., Хмельковский И.Е., 1971, с. 9). Молотковые и роторные дробилки различаются по способу крепления бил к ротору. В молотковых дробилках била (иначе молотки) свободно подвешены к ротору. Энергия удара по куску породы определяется собственной массой била. В роторных дробилках била жестко прикреплены к ротору, в ударе по куску участвует вся масса ротора.

В центробежно-ударных дробилках разрушение породных кусков происходит в результате их удара о неподвижную массивную преграду. Такой способ разрушения получил название "ударно-отражательного дробления" (там же). В соответствии со способом разрушения породных кусков получили свое название реализующие его дробилки. При обоих вариантах дробления разрушаемый кусок породы оказывается не подпертым какой-либо жесткой поверхностью (наковальной), а является "свободным". В соответствии с этим и появился термин "свободный удар".

В центробежно-ударных дробилках реализуется два типа преград, о которые ударяется летящий с большой скоростью кусок породы. Преградой может служить массивная броня, тогда такой способ разрушения принято называть "камень о металл" или "камень о броню". Преградой может служить также подушка из дробимого материала, такой способ разрушения принято называть "камень о камень".

3. Характеристика зерновой смеси

Продукты дробления, как и исходный материал, представляют собой смесь зерен разной крупности в пределах некоторого значения от минимального (d_{min}) до максимального (d_{max}).

В большинстве случаев размер минимальной частицы у не классифицированного материала принимается равным нулю. Однако если используемые для расчетов математические формулы теряют определенность при нулевом значении минимального зерна, то для d_{min} принимают некоторую значимую величину, мало отличную от нуля.

Размер максимального куска в общем случае определяется путем отсева зерновой смеси на ситах. В простейшем случае считают, что d_{max} равен размеру ячейки первого сита, на котором не осталось материала. Этот метод не обеспечивает достаточной точности и может привести к получению завышенного значения размера максимального зерна. Более точное значение d_{max} получают графически путем продолжения суммарной кривой зернового состава до пересечения с осью абсцисс.

Характеристика распределения зерен по фракциям крупности дается в форме таблиц либо в виде специальных графиков - аккумулятивных кривых зернового состава. Аккумулятивные кривые могут строиться двумя способами: "по плюсу" и "по минусу". При построении графика зернового состава "по плюсу" определяют последовательные значения массы надрешетного продукта (в процентах) при переходе от сит с крупными ячейками к ситам с более мелкими ячейками. Масса надрешетного продукта на самом мелком сите обычно приближается к 100%. При построении графика зернового состава "по

минусу" определяют последовательные возрастающие массы подрешетного продукта при переходе от сит с мелкими ячейками к ситам с более крупными ячейками.

Графики зернового состава (аккумулятивные кривые) строят в прямоугольной системе координат. По оси абсцисс откладывают размеры ячеек сит от маленьких к большим в линейном или, что предпочтительнее, в логарифмическом масштабе, а по оси ординат - суммарные массы надрешетного либо подрешетного продукта (в процентах) в линейном масштабе. Графики для одного и того же продукта, построенные "по плюсу" и "по минусу", являются зеркально идентичными. Кривая, построенная "по плюсу", проходит от левого верхнего угла графика к правому нижнему, а кривая, построенная "по минусу", проходит от левого нижнего угла к правому верхнему.

Для характеристики зернового состава строят также гистограммы распределения зерен по фракциям крупности. В этом случае по оси абсцисс в логарифмическом масштабе откладывают размеры ячеек сит, а по оси ординат в линейном масштабе в виде столбиков - относительные (или абсолютные) массы соответствующих фракций крупности.

Есть несколько важнейших показателей, характеризующих зерновой состав продукта. Один из них - средневзвешенный размер d_{CB} зерен. Он определяется по результатам отсева зерновой смеси на отдельные фракции крупности и рассчитывается по формуле

$$d_{CB} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i y_i}{100}$$

где d_i - среднеарифметический размер узкой фракции; y_i - выход узкой фракции в %.

Еще один важный показатель - медианный размер зерна d_{50} . Он показывает теоретический размер ячейки сита, на котором смесь разделилась бы на две равные части по массе. Этот показатель определяется на аккумулятивных кривых зернового состава и соответствует размеру зерна, приходящегося на точку пересечения аккумулятивной кривой с ординатой 50%.

Иногда вместо максимального размера куска d_{max} используют близкий к нему показатель d_5 - размер ячейки сита, на котором при отсеве остается 5% материала пробы.

Этот показатель легко определяется на аккумулятивных кривых по пересечению кривой с ординатой 95%. Он является более достоверным по сравнению с максимальным размером куска d_{max} .

Имеет хождение показатель d_R - размер ячейки сита, на котором при отсеве остается R% от массы пробы. При этом остаток на сите с ячейкой, равной d , обозначают как R_d .

Для характеристики того, на сколько мельче стал материал в процессе его разрушения, используют показатель степень дробления или степень измельчения i :

$$i = \frac{D}{d_{CB}}$$

где D_{CB} и d_{CB} - средневзвешенные размеры соответственно исходного материала и продукта дробления (измельчения).

Для приближенной оценки результатов процесса дробления (измельчения) можно использовать легко определяемые показатели - медианные размеры соответствующих продуктов. В этом случае степень дробления i' определится по формуле

$$i' = \frac{D_{50}}{d_{50}}$$

где D_{50} и d_{50} - медианные размеры соответственно исходного материала и продукта его разрушающей обработки.

В литературе встречается термин "сокращение материала" s , который определяется соотношением максимальных размеров кусков

$$s = \frac{D_{\max}}{d_{\max}}$$

где D_{\max} и d_{\max} - максимальные размеры зерен соответственно исходного материала и продукта дробления.

Для характеристики результата тонкого измельчения некоторых материалов, например, цемента, используется такой показатель, как удельная поверхность, который определяется площадью поверхности всех зерен в 1 грамме продукта. При прочих равных условиях величина этого показателя обратно пропорциональна квадрату среднего размера зерна, хотя зависит в первую очередь от выхода самых тонких фракций. Определяется она с применением специальных методов, которые в настоящей работе не рассматриваются.

Есть еще два частично связанных между собой показателя, которые косвенным образом характеризуют зерновую смесь, это плотность и насыпная плотность материала. Плотность ρ_0 характеризует материал, из которого получена зерновая смесь, при этом она никак не зависит характеристик зерновой смеси. Она определяется как отношение массы навески g_1 к ее объему в плотной массе и вычисляется по формуле

$$\rho_0 = \frac{g_1}{g_1 - g_2}$$

где g_1 - вес навески на воздухе, g_2 - вес той же навески в воде.

Насыпная плотность ρ_N определяется как отношение массы навески g_1 к объему V , который она занимает

$$\rho_N = \frac{g_1}{V}$$

Важной величиной, характеризующей зерновую смесь, является коэффициент разрыхления. Он определяется как отношение насыпной плотности к плотности

$$K_{\gamma} = \frac{\xi_{\gamma}}{\xi_0}$$

Величина коэффициента разрыхления в общем случае изменяется от 0 до 1. Коэффициент показывает, какую часть объема, занятого зерновой смесью, составляют твердые частицы. Чем ближе значение коэффициента разрыхления к единице, тем выше качество зерновой смеси.

4. Классификация формы зерен

Форма зерен является одним из основных параметров, который определяет качество строительного щебня. Форму кусков (или зерен) породы принято оценивать по соотношению размеров в трех взаимно перпендикулярных направлениях: максимальный размер - длина, минимальный - толщина и средний размер - ширина. Зерна, у которых отношение длины к ширине или толщине меньше трех, считаются имеющими правильную или кубовидную форму. Зерна, толщина которых менее длины в 3 и более раз, относят к пластинчатым (лещадным). Зерна, ширина которых менее длины в 3 и более раз, считаются имеющими игловатую форму. Зерна лещадные и игловатые вкпе принято называть имеющими неправильную форму.

При дроблении и измельчении руд конечная форма зерен, как правило, не имеет существенного значения. А вот качество строительного щебня очень сильно зависит от содержания в нем зерен неправильной формы, которые можно рассматривать как вредную примесь. Дело в том, что многочисленными исследованиями [4-7 у Л.И. Барона] устанавливается обратная зависимость качества бетонной смеси от содержания в щебне-заполнителе лещадных и игловатых зерен. С повышением содержания в щебне зерен неправильной формы снижается прочность и долговечность бетона. С повышением содержания зерен неправильной формы снижается насыпная плотность щебня, что ведет к увеличению расхода цемента и других вяжущих материалов. Проведенные подсчеты показывают, что при использовании низкокачественного щебня в масштабах страны ежегодно перерасходуется несколько миллионов тонн цемента.

ГОСТ 8267-93 "Щебень из природного камня для строительных работ" устанавливает следующие группы товарного щебня в зависимости от содержания в нем зерен неправильной формы, что приведено в таблице 1.

Таблица 1

Группа щебня по форме зерен	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе
Кубовидная	До 15
Улучшенная	От 15 до 25
Обычная	От 25 до 35

Как видно из таблицы, наиболее жесткие требования по содержанию зерен неправильной формы предъявляются к "кубовидной" группе, которая используется для самых ответственных целей: приготовление бетона, отсыпка балластного слоя железнодорожных путей и автодорог и др.