

скоростей валков K , при различной степени деформации имеется ряд критических значений $K_{\text{кр}}$, при которых процесс прокатки может осуществляться стабильно без пробуксовки полосы относительно ведущего валка.

Литература

1. Карпицкий, В.С. Усилие и напряжения процесса асимметричной прокатки полос в условиях граничных значений кинематических параметров / В.С. Карпицкий, Ю.В. Карпицкий // *Металлургия: Респ. межведом. сб. науч. тр.* – Минск: Выш. школа, 2008. – Вып. 31. – С. 241–244.

2. Карпицкий, В.С. Теоретические и экспериментальные исследования процесса прокатки с критическим рассогласованием окружных скоростей валков / В.С. Карпицкий, Ю.В. Карпицкий // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–17 октября 2008 г.: в 4 кн.* – Минск: ФТИ НАНБ, 2008. – Кн. 3: Новые технологии обработки металлов давлением. – С. 181–184.

3. Нефедов, А.А. К вопросу об изгибе выходящего конца полосы при прокатке на валках разного диаметра / А.А. Нефедов // *Изв. вузов. Черная металлургия.* – 1984. – Т. 4. – С. 72–75.

УДК 622.731

А.Н. БУКО (Департамент «Белавтодор»),
М.В. КУДИН, канд. техн. наук (БНТУ),
А.К. ГАВРИЛЕНЯ, канд. техн. наук (БарГУ)

УДАР КУСКОВ ИЗМЕЛЬЧАЕМОГО МАТЕРИАЛА ОБ ОТБойНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ЦЕНТРОБЕЖНО-УДАРНОЙ ДРОБИЛКИ

Для улучшения и придания материалам потребительских и технологических свойств широко используются операции их измельчения. В настоящее время все большее применение находит центробежно-ударный способ дробления. Низкие энергозатраты и вы-

сокая эффективность при дроблении хрупких материалов ставят центробежно-ударные дробилки в ряд наиболее перспективных [1, 2].

Центробежно-ударные дробилки позволяют реализовать способ измельчения «свободным ударом», при котором дробление осуществляется с низким выходом частиц игловатой и лещадной формы (не выше 10 % по массе). Разрушение кусков происходит по границам спайности минералов и внутренних трещин, что приводит к селективному дроблению руды с извлечением зерен целевого материала уже при дроблении. Также полученные в результате дробления частицы практически лишены внутренних трещин, что приводит к повышению прочности на сжатие по отношению к прочности исходных кусков.

Принцип действия центробежно-ударной дробилки основан на ускорении под действием центробежных сил кусков материала в лопасти и их вылете со скоростью, существенно превышающей критическую скорость разрушения материала. В камере измельчения происходит удар разогнанных кусков об отбойное кольцо (рисунок 1).

При ударе об отбойное кольцо измельчаемый кусок материала получает точку опоры. Так как для боковых участков куска материала точки опоры отсутствуют, то действующая на кусок материала сила P стремится разорвать связи, осуществляющие сцепление в материале. При этом возникают напряжения в измельчаемом куске материала. Если возникающие напряжения больше допускаемых, то происходит разрушение исходного куска материала. Следует отметить, что расчет усложняется, так как на различных участках измельчаемого куска материала возникают напряжения смятия, изгиба, сжатия, сдвига и растяжения. Какой вид напряжений приведет к разрушению куска материала, будет зависеть от следующих факторов: вида удара (прямой или косой); прочности связей между частицами в исходном материале; наличия дефектов структуры материала; геометрической формы кусков исходного материала; конфигурации поверхности отбойных колец.

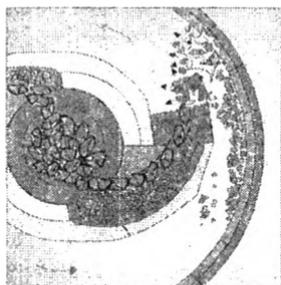


Рисунок 1 – Удар кусков материала об отбойное кольцо дробилки

Определение энергоемкости процесса дробления затруднено в связи с тем, что в настоящее время отсутствуют аналитические методы, которые позволили бы определить количество и размер частей, на которые распадается исходный кусок материала под действием известных сил. Обычно исходный материал представляют в виде сыпучей среды, состоящей из однородных по химическому составу, но разнородных по размеру и форме отдельных кусков. Точный расчет энергозатрат на дробление затруднен значительным влиянием на процесс разрушения дефектов структуры материала, а также хаотическим распределением кусков материала между собой.

Характер разрушения кусков исходного материала при ударе об отбойную поверхность центробежно-ударной мельницы может быть двух видов: полное разрушение (прямой удар, угол атаки куска материала $\alpha = 90^\circ$); частичное разрушение (косой удар, $\alpha < 90^\circ$), и зависит от большого количества различных факторов, основными из которых являются: величина абсолютной скорости удара кусков материала об отбойную поверхность мельницы; величина критической скорости разрушения кусков данного материала; траектория движения кусков исходного материала в пределах зоны измельчения; угол установки отбойных элементов по отношению к радиусу мельницы.

Наиболее предпочтительным видом разрушения частиц исходного материала в помольной камере мельницы является разрушение посредством высокоскоростного центрального (прямого) удара ($\alpha = 90^\circ$) об отбойную поверхность. В данном случае кинетическая энергия частиц материала используется для разрушения с мини-

мальными потерями и, в результате более тонкого помола, значительно снижается количество рикошетирующих от отбойной поверхности на ускоритель мельницы крупных осколков измельчаемого материала, что в свою очередь приводит к определенному увеличению срока службы рабочих элементов ускорителя и снижению капитальных затрат на их замену или восстановление.

По мере поступления измельчаемого материала в центробежно-ударную дробилку, каждая его частица испытывает за доли секунды стремительное ускорение и торможение (рисунок 2). Этим обеспечивается создание в камере измельчения вращающейся среды с высокой насыщенностью частиц, движущихся хаотически и обладающих большой кинетической энергией.

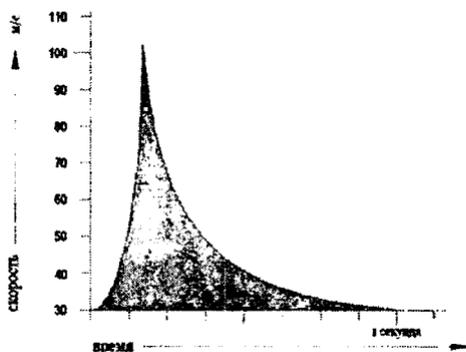


Рисунок 2 – Скорость движения частиц

Известно [3], что теоретическая скорость вылета кусков измельчаемого материала $v_{\text{в}}$ из ротора с радиальными лопастями с учетом коэффициента трения f между измельчаемым материалом и лопастями ротора больше скорости концов лопастей $v_{\text{л}}$ в 1,25 раза.

Окружная скорость $v_{\text{л}}$, м/с

$$v_{\text{л}} = \frac{\pi n R}{30}, \quad (1)$$

где n – частота вращения ротора, об/мин; R – радиус окружности, описываемой концом лопасти, м.

Кинетическая энергия, потерянная телами при неупругом ударе, равна кинетической энергии, соответствующей их потерянными скоростям [4].

Рассматривая удар измельчаемого материала об отбойное кольцо, запишем уравнение кинетической энергии:

$$T_0 - T = \frac{mv_{\text{в}}^2}{2} - \frac{mv_{\text{к}}^2}{2}, \quad (2)$$

где T_0 – кинетическая энергия материала до удара; T – кинетическая энергия разрушенных частиц материала после удара; m – масса материала; $v_{\text{к}}$ – средняя скорость частиц после удара измельчаемого материала об отбойные кольца и его разрушения.

Ориентировочно скорость частиц после материала после удара и разрушения на два порядка меньше скорости измельчаемого материала до удара, поэтому можно считать, что кинетическая энергия материала T после удара составляет 1–2 % от T_0 .

Работа A , израсходованная на разрушение измельчаемого материала, равна потере кинетической энергии материала при ударе

$$A = (0,98 - 0,99)T_0. \quad (3)$$

Таким образом, работа A будет зависеть от массы измельчаемых кусков материала, при этом, если кусок материала будет иметь малую массу, то работа A может быть недостаточна для разрушения материала.

При ударе частиц измельчаемого материала об отбойные кольца в месте их соприкосновения возникают деформации, и, следовательно, перемещения частиц материала, обусловленные деформациями [5]. Деформация кусков материала приводит к их разрушению. Если считать, что работа, израсходованная на разрушение, будет выполнена ударной силой P на деформацию Δd , то

$$A = P\Delta d. \quad (4)$$

Тогда ударная сила P

$$P = \frac{A}{\Delta d}. \quad (5)$$

Отсюда видно, что в первую очередь будут разрушаться более хрупкие куски материала, для которых $\Delta d \rightarrow 0$.

Подставив выражение (4) в (3), получим

$$P\Delta d = (0,98...0,99)I_0$$

или

$$P\Delta d = (0,98...0,99)\frac{mv_B^2}{2}. \quad (6)$$

Сила удара, вызывающая разрушение частиц измельчаемого материала, определяется по формуле

$$P = \sigma_B d^2, \quad (7)$$

где d – размер частицы условно принятой в виде куба.

Тогда из выражения (6) скорость удара частицы со стороны d , необходимая для ее разрушения, будет определяться по формуле

$$v_B = \sqrt{\frac{2\sigma_B d^2 \Delta d}{(0,98-0,99)m}} = \sqrt{\frac{2\sigma_B d^2 \Delta d}{(0,98-0,99)\rho d^3}} = \sqrt{\frac{2\sigma_B \Delta d}{(0,98-0,99)\rho d}}. \quad (8)$$

Таким образом, при ударном воздействии на измельчаемый материал, прежде всего, будут разрушаться более крупные (с большей плотностью и массой) частицы.

С учетом того, что $v_B \approx 1,25v_d$ и после подстановки выражения (1) в (6) запишем

$$P = (0,0084...0,0085)\frac{mn^2 R^2}{\Delta d}. \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что сила удара частиц об отбойную поверхность будет тем больше, чем больше масса частицы, частота вращения и радиус окружности конца лопасти центробежно-ударной дробилки. Поэтому для осуществления контроля интенсивности обработки и гранулометрического состава готовой продукции целесообразно предусмотреть возможность регулировки частоты вращения ротора центробежно-ударной дробилки.

На экспериментальной базе НПО «Центр» проведены опытно-технологические работы по центробежно-ударному дроблению до-

ломитового щебня из смеси фракций 20–60 мм с целью оптимизации ударного силового воздействия, обеспечивающего получение щебня требуемой прочности и кубовидной формы.

Гранулометрический состав продуктов дробления доломитового щебня, при различных скоростях удара, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость гранулометрического состава от скорости удара

Продукты отсева	Скорость удара, м/с		
	53	57	64
	Выход фракций, %		
крупнее 40 мм	4,16	2,84	2,76
от 20 до 40 мм	55,42	51,08	47,84
от 10 до 20 мм	22,73	21,29	22,50
от 5 до 10 мм	8,45	9,27	11,29
менее 5 мм	9,24	15,52	15,61

Проведены исследования физико-механических свойств щебня фракций 5–10 мм и 10–20 мм. Установлено, что в результате ударно-центробежного дробления марка по дробимости исходной фракции повысилась с 600 до 1000, а содержание в материале зерен пластинчатой и игольчатой формы уменьшается в среднем в 2–3 раза, и составило 4,5–7,5 %, что соответствует щебню I группы по ГОСТ 8267-93. В измельченном продукте содержание частиц изометрической кубообразной формы составляет около 93–95 %, а насыпная плотность щебня, полученного ударно-центробежным способом, повысилась на 5–8 %. Истираемость исходного материала в результате дробления повысилась на 30–35 % и соответствует марке И-1 по ГОСТ 8267-93.

Литература

1. Барон, Л.И. Разрушение горных пород свободным ударом / Л.И. Барон, И.Е. Хмельковский. – М.: Наука, 1971. – 203 с.
2. Создание опытного образца роторно-ударной ДИМ для рудных и нерудных материалов производительностью до 10 т/ч: отчет о

НИР / НИПКИ «Параметр» при ДГМИ: рук. темы П.П. Королев. – Алчевск, 1993. – 17 с. – № ГР 0193У024515. – Инв. № 0294И002393.

3. **Осколенко, Г.Н.** Исследование дробления и измельчения силикатных и других материалов в центробежной роторной мельнице-дробилке: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Г.Н. Осколенко. – Днепропетровск, 1965. – 27 с.

4. **Яблонский, А.А.** Курс теоретической механики / А.А. Яблонский, В.М. Никифорова. – М.: Издательство «Лань», 2002. – 768 с.

5. **Багян, Э.Р.** Исследование и разработка способа механического дробления хрупких материалов свободным ударом с использованием центробежного ускорителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06 / Э.Р. Багян; Институт геотехнической механики АН УССР. – Днепропетровск, 1986. – 25 с.