УДК 662.8.055

Л.А.ЛЕНЕВ
Металлургический факультет,
аспирант кафедры обогащения
полезных ископаемых

К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ БРИКЕТИРОВАНИЯ

В настоящее время хорошо известны законы дробления и измельчения используемые при сравнительной оценке процессов дробления и измельчения. Поскольку процесс брикетирования условно противоположен процессу дробления, мы решили создать теорию, противоположную процессам разрушения частиц. В нашей работе мы попытаемся объяснить, зачем нужны законы брикетирования и какой практический эффект они принесут.

Laws of ore breaking and ore degradation used in comparative evaluation of crushing processes are presently well-known. As the briquetting process conventionally opposed to the crushing process, it was decided to create a theory opposed to ore breaking processes. This work tries to explain what the laws of briquetting are necessary for and what practical effect they can bring.

Процесс брикетирования полезных ископаемых известен уже более 100 лет. Разработки в области брикетирования направлены на изучение механизма, режимов и технологии процесса, а также улучшение конструкций брикетных прессов. Обычный расчет прессов сводится к определению сил трения, работы, мощности и КПД узлов пресса и всего агрегата [3, 4].

Методика расчета и выбор прессов были разработаны еще в 50-е годы прошлого столетия, до наших дней они остались без изменений [4]. Для усовершенствования методики расчета и оптимизации процесса брикетирования необходимо при расчетах опираться на зависимость энергии, затраченной на брикетирование, от его результата. В своей работе мы попытаемся объяснить, зачем нужен поиск энергетических закономерностей брикетирования и как их можно осуществить.

В настоящее время хорошо известны законы дробления [1, 2], используемые при сравнительной оценке процессов дробления и измельчения. Под законами дробления понимаются гипотезы, определяющие расход энергии на дробление и измельчение минеральных пород. Эти законы аналитически выражаются уравнениями, связывающими расход энергии на дробление с получаемой при этом крупностью. Упомянутые законы не универсальны. Применение их связано с определенными условиями: крупностью исходного материала, степенью измельчения, гранулометрическим составом продуктов в процессах дробления, свойствами материала и др. Элементарная работа дробления одного куска по обобщающей гипотезе пропорциональна элементарному изменению некоторой степени его диаметра.

П.Риттингер [4] считал, что энергия дробления E от начального размера l_1 до конечного l_2 пропорциональна вновь образованной поверхности. Единица объема (1 м^3) исходных частиц диаметра d имеет поверхность $S_1 = [1/(\pi l_1^3/6)]\,\pi l_1^2 = 6/l_1$; после дробления до размера $l_2 < l_1$ поверхность увеличивается до $S_2 = 6/l_2$. Здесь $\pi l_1^3/6$ – объем одной частицы; πl_1^2 – площадь ее поверхности. Таким образом, энергия дробления

$$E = K\left(\frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1}\right),$$

где K – константа, зависящая от прочности материала.

В частности, Ф.Бонд [5] предложил в расчетах использовать индекс работы W_i

(энергия, затраченная на измельчение 1 т сплошного материала «бесконечного» размера до крупности 100 мкм), который можно использовать для оценки K:

$$E = W = K\left(\frac{1}{100} - \frac{1}{\infty}\right) \Rightarrow K = 100W.$$

Тогда формула Риттингера примет вид

$$E = W\left(\frac{100}{l_2} - \frac{100}{l_1}\right).$$

Поскольку мы пытаемся создать теорию, противоположную процессам разрушения, предполагаем, что энергия брикетирования $E_{\text{бр}}$ от начального размера l_1 до конечного размера l_2 пропорциональна убыли свободной поверхности. Следовательно, энергия брикетирования

$$E_{\text{бр}} = K\left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2}\right).$$

По некоторым гипотезам дробления [1], расход энергии

$$E = i - 1 \text{ или } E = \frac{1}{D},$$

где i – степень дробления (измельчения); D – исходный размер куска до дробления.

При расчетах «степени окускования», характеризующей отношение среднего размера брикета к среднему размеру зерна в исходном продукте, наверное, будет возможно использование

$$i_{\text{о}} = \frac{D_{\text{бр}_{\text{ср}}}}{d_{\text{з}_{\text{ср}}}}.$$

Поскольку законы дробления [1, 2] – это зависимости работы, затраченной на дробление, от результата дробления, закономерности брикетирования – это зависимости работы, затраченной на брикетирование, от результата брикетирования. А результатом брикетирования является сам брикет с определенными прочностными характеристиками, геометрическими размерами и дополнительными технологическими свойствами. Поэтому индекс брикетирования, подобный индексу дробления, здесь не применим, а применим в лучшем случае общий коэффициент, характеризующий качество, вид, способ брикетирования и конструкцию брикетного пресса. Общий коэффициент будет рассчитываться для конкретного продукта брикетирования при оптимальной влажности:

$$K = K_{\text{м}} K_{\text{т}},$$

где $K_{\text{м}}$ – коэффициент, зависящий от характеристики исходного продукта; $K_{\text{т}}$ – коэффициент, зависящий от технических факторов брикетирования.

Коэффициент

$$K_{\text{м}} = k_{\text{бр}} k_D k_{\text{тв}} k_{\rho},$$

где $k_{\text{бр}} = \sigma_{\text{бр}} / P_{\text{пресс}}$ – коэффициент брикетируемости, характеризует отношение прочности брикета от давления прессования при изготовлении, $k_{\text{бр}} \to 1$; k_D – коэффициент, зависящий от крупности зерен в материале; $k_{\text{тв}}$ – коэффициент, зависящий от твердости зерен в материале; k_{ρ} – коэффициент, зависящий от плотности материала.

Коэффициент

$$K_{\text{т}} = k_{\text{в.б}} k_{\text{к.б}} k_{\text{х.с}},$$

где $k_{\text{в.б}}$ – коэффициент, характеризующий вид брикетирования (холодное, горячее); $k_{\text{к.б}}$ – коэффициент, учитывающий конструкцию пресса (вальцовый, штемпельный); $k_{\text{х.с}}$ – коэффициент, характеризующий характер сжатия (одностороннее, двустороннее).

При одностороннем прессовании и сравнительно невысоких давлениях нельзя получить брикет одинаковой плотности по всей его высоте, а следовательно, достаточно прочный. При увеличении давления при одностороннем прессовании можно избежать неравномерности в плотности. В этом случае неравномерно расходуется энергия давления прессования (расход на трение о стенки составляет около 70 %, а полезная работа пресса 30 %) [3].

Главной проблемой исследователей [5], занимавшихся изучением законов дробления, был учет в аналитических формулах зависимости гранулометрических характеристик материала до и после разрушения:

$$E_\gamma = \int_0^\infty \gamma_{\text{др}}(l_2)\left[\int_0^\infty \gamma_{\text{исх}}(l_1)E(l_1,l_2)dl_1\right]dl_2,$$

где $\gamma_{\text{исх}}, \gamma_{\text{др}}$ – гранулометрические характеристики исходного и дробленого продуктов.

В процессах брикетирования нашей проблемой является учет в аналитических формулах гранулометрической характеристики продукта, поступающего в процесс брикетирования. Параметр крупности зерна и ситовый состав – очень важные условия брикетирования. Чем крупнее зерно, тем в процессе прессования выше расход энергии на его измельчение. При недостаточном удельном давлении прессования крупное зерно не раздавливается, что мешает массе спрессовываться в брикеты, особенно когда процесс брикетирования осуществляется без присадки связующих веществ. Параметр крупности питания [1] в нашем случае будет описываться уравнением Розина – Рамлера, характеризующим среднюю крупность продукта. В ходе научных исследований этот параметр будет уточнен и скорректирован.

Поскольку конечный продукт брикетирования – это брикеты одинаковой крупности, наша задача упрощается и вывод формулы, учитывающей гранулометрическую характеристику при брикетировании, будет проще формулы, учитывающей гранулометрическую характеристику при дроблении. Возможно, эта формула будет выглядеть так:

$$E_\gamma = \gamma_{\text{бр}}(l_2)\int_0^{d_{з\max}} \gamma_{\text{исх}}(l_1)E(l_1,l_2)dl_2.$$

В дальнейших работах мы будем искать значения поправочных коэффициентов, корректировать формулы затрат энергии и сводить все данные в расчетные таблицы. Пользуясь данными закономерностями, можно будет производить сравнительную оценку процессов брикетирования, а также ориентировочно определять производительность пресса и энергетические расходы на брикетирование.

Пример возможного использования нашей теории: у нас есть некоторый продукт, для которого необходимо подобрать оптимальное энергоемкое брикетное оборудование. В лабораторных условиях провели опыты на брикетируемость. С помощью поправочных коэффициентов и формул мы сможем подсчитывать приблизительный расход электроэнергии на 1 т брикетов, а также определять примерную производительность брикетного пресса любого типа и, соответственно, выбирать оптимальный вариант пресса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреев С.Е.* Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С.Е.Андреев, В.В.Зверевич, В.А.Перов. М.: Госгортехиздат, 1961.

2. *Андреев С.Е.* Законы дробления // Горный журнал. 1952. № 7.

3. *Лурье Л.А.* Брикетирование в металлургии. М.: Углетехиздат, 1963.

4. *Сорматов М.И.* Элементы теории и расчета прессов для брикетировния угля. М.: Углетехиздат, 1954.

5. *Тихонов О.Н.* Теория и практика комплексной переработки в странах Азии, Африки и Центральной Америки / О.Н.Тихонов, Ю.П.Назаров. М.: Недра, 1989.

Научный руководитель д.т.н. проф. *О.Н.Тихонов*