

УДК 622.73

Ніколаєнко П.К.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ РУДИ В ШАРІ ПІД ТИСКОМ

Одним із сучасних способів руйнування руди за умови мінімуму енерговитрат є міжчастинкове дроблення.

Основний показник роботи дробарного обладнання – гранулометричний склад дробленого продукту. Можливість його прогнозування дозволить підвищити ефективність руйнування та селективність розкриття мінеральних індивідів по їх межах і, як результат, – зменшити енерговитрати на отримання матеріалу необхідної крупності.

Для оцінки міцності тіла у вигляді шматка руди застосовується енергетичний критерій руйнування Грифітса [1], згідно з яким тріщина починає поширюватись у крихкому тілі, якщо швидкість звільнення енергії пружної деформації при її утворенні перевищує приріст поверхневої енергії:

$$\frac{d}{dt} U(I_1) - W(P^*, I_1) = 0 \quad (1),$$

де:

$U(I_1)$ – поверхнева енергія тріщини;

$W(P^*, I_1)$ – потенційна енергія пружних деформацій, обумовлена розкриттям тріщини довжиною $2I_1$ при впливі на тіло зовнішніх навантажень P, P^* , де граничне значення навантаження – P .

Якщо розподіл у шматках руди тріщин, включень, дислокацій та інших нерівномірностей має випадковий характер, ця модель не містить математичних співвідношень для визначення розмірів тіла та тріщини, таким чином не є повною.

Значні труднощі виникають при оцінці механічних властивостей руди в умовах рудного шару в дробарному апараті. В цьому випадку величини показників міцності та деформації, за інших рівних умов, буде визначати, перш за все, складний напружено-деформований стан руди, що характеризується взаємодією кожного шматка (об'єму) з іншими шматками.

На практиці використовуються так звані критерії руйнування (міцності), за якими визначається момент руйнування руди в процесі зовнішнього впливу на неї.

При дробленні матеріалу в ролер-пресі, міжчастинкове руйнування руди відбувається за рахунок сил, що тиснуть на рудний шар, в якому концентруються розтягаючі та зсувні напруження [2, 3]. При відсутності бокового тиску або малих його значеннях опір зсуву всередині частинки на порядок більший від опору зсуву по межі індивідів рудних і нерудних мінералів. При зсуві може відбуватись зміщення в напрямку, перпендикулярному поверхні тріщини.

При значному боковому тиску і неможливості зміщення частинки руди, міцність на зсув по межі мінеральних індивідів наближається до міцності частинки. У точці перетину прямої тертя Кулона для межі частинки і значенні її обвідної Мора, міцності вирівнюються, і скол по межі індивідів стає більш імовірним [1].

У ролер-пресі при наявності бокового тиску існує можливість взаємного зсуву мінеральних частинок через гранулометричну неоднорідність шару рудного матеріалу. Ця умова необхідна для підвищення ефективності руйнування, селективності розкриття мінеральних індивідів по їх межах і зниження енерговитрат.

Таким чином, можна припустити, що основною причиною руйнування матеріалу в ролер-пресі, є прояв зсувного механізму руйнування мінеральних агрегатів.

Тобто в якості основної характеристики міцності руд доцільно використовувати граничне значення зсувної складової напруженого стану рудних частинок; в якості граничного по зсувних напруженнях значення використовувати межу їх пружності, оскільки межі міцності і позамежної міцності мають у більшості видів руд на порядок меншу зону (область) існування, а також високий коефіцієнт крихкості.

За результатами численних досліджень зразків руд на стискання, встановлені деякі загальні закономірності процесу деформації та руйнування матеріалу. Ці закономірності досить стійкі й дозволяють проводити із задовільною для практики точністю опис процесу дроблення руд.

Однією з них, є залежність гранулометричних параметрів руйнування руди від величини роботи зовнішніх сил, яка в процесі дроблення, визначає величину потенційної енергії деформації шматків руди. Таким чином, знаючи величину роботи зовнішніх сил і вихідні розміри шматків руди що руйнуються в рудному шарі, можна оцінити гранулометричний склад продукту на виході процесу руйнування. Ця закономірність визначає підхід до самого процесу, для різних умов дроблення, головним чином, у залежності від вихідного гранулометричного складу руди.

В загальному вигляді формула процесу дроблення має вигляд:

$$E_p = kD^\sigma (R^{3-\sigma} - 1)/3 - \sigma \quad (2),$$

де:

E_p – енергія, що витрачається на руйнування;

σ – визначається дослідним шляхом для кожного конкретного випадку дроблення;

k - коефіцієнт пропорційності;

R - ступінь дроблення.

На основі вивчення гранулометричного складу руди, отриманої після її руйнування в ролер-пресі, виявлено, що для опису процесу найбільшою мірою підходить окремий випадок, який визначається формулою Бонда у вигляді:

$$W = k(1/\sqrt{d} - 1/\sqrt{D}) \quad (3),$$

де:

W – робота зовнішніх сил, необхідна для руйнування шматка руди;
 D – діаметр шматка руди до руйнування;
 d – діаметр шматка руди після руйнування;
 k – коефіцієнт пропорційності, який визначається дослідним шляхом за формулами опору матеріалів з діаграми стиснення зразка руди у вигляді:

$$k = \sigma_{\max}/2E_{\text{пр}} \quad (4),$$

де:

σ_{\max} – значення руйнівного напруження на стиск;

$E_{\text{пр}}$ – модуль пружності матеріалу шматка руди даного розміру.

З формули (3), отримуємо формулу для обчислення діаметра частинок (шматків) руди після дроблення:

$$D = k^{2.5}D/(W\sqrt{D+k})^{2.5} \quad (5)$$

Жорсткий радіальний зв'язок зовнішньої частини (поверхні) роликів з центрами їх обертання, необхідний для передачі зовнішнього силового впливу на шар руди, у вигляді моменту обертання та осьової стискаючої сили, моделюється спеціальним типом кінцевого елемента – «жорстка вставка» [2].

Таким чином, алгоритм вирішення задачі напружено-деформованого стану зводиться до обчислення потенційної енергії деформування шматків руди в шарі, яка потім використовується в формулі (5) для визначення гранулометричної характеристики руди після дроблення.

Результати моделювання були перевірені при дробленні в ролер-пресі гематитової руди.

Максимальна крупність шматків вихідного живлення дробарки склала 40 мм. У вихідному живленні та розвантаженні ролер-преса визначався гранулометричний склад матеріалу. При цьому фіксувалися: відстань між валками, споживана потужність, струмове навантаження, зміна тиску в гідросистемі рухомого валу.

Додатково за допомогою математичної моделі був виконаний розрахунок теоретичної гранулометричної кривої продукту дроблення, для кожного модельованого шматка руди, при певній величині зовнішньої сили.

Результати випробувань і розрахунків (рис. 1) свідчать про близькість результатів експерименту й моделювання.

Висновки

1. Аналіз процесу дроблення шматків руди в шарі, який здійснюється в ролер-пресі, показав, що основною причиною руйнування матеріалу, є прояв зсувного механізму руйнування рудних частинок. Тобто в якості основної характеристики міцності руд доцільно використовувати граничне значення зсувної складової їх напруженого стану; в якості граничного по зсувних напруженнях значення використовувати межу пружності.

2. Рекомендований алгоритм вирішення задачі напружено-деформованого стану, який зводиться до обчислення потенційної енергії деформації шматків руди в шарі. Вона використовується для визначення гранулометричної характеристики руди після дроблення.

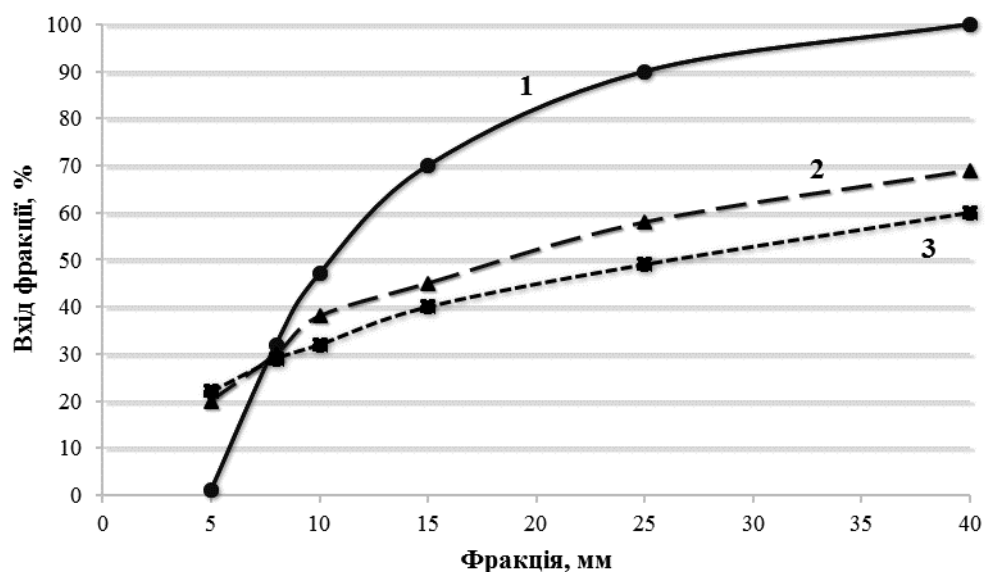


Рис. 1. Гранулометричний склад вихідної руди і продукту дроблення гематитової руди (розрахунковий і отриманий емпіричним шляхом) в ролер-пресі
1 – вихідний матеріал; 2 – експериментально отриманий продукт; 3 – розрахунковий продукт дроблення.

3. Дані про гранулометричний склад продуктів дроблення, отримані шляхом моделювання, показали високу схожість із експериментальними даними.
4. Вивчення міжчастинкового руйнування руди на основі теоретичного моделювання дозволяє проводити оптимізацію енергоємності процесу рудопідготовки, що є важливим завданням в області збагачення корисних копалин.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Лейбовиц А.** Разрушение. Неорганические материалы // Москва: Мир, 1967.– Т. 7, ч. 1.– С. 61-128.
2. **Fuerstenu D.W., Kapur Д.Ñ., Gutsche Î.** Comminution of minerals in a laboratory-size, choke-fed high-pressure roll mill // Mines carriers: Tech.– 1994.– No 3-4.– P. 24-28.
3. **Kellerwessel H.A.M.** High pressure particlebed comminution. State of the art, application, recent developments // Engineering and mining journal.– 1996.– Vol. 197.– No 2.– P. 45.