

М.О. ОЛЕЙНИК, студент, Криворожский технический университет,
г. Кривой Рог, Украина

ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫТИЯ ЗЕРЕН ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛИМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

В статті виконано оцінку параметрів розкриття корінних титан-фосфорних руд. Запропоновано математичну модель, що розкриває зв'язок між ступенем розкриття мінеральних зерен і крупністю подрібнення руди. Визначено оптимальну крупність дроблення руди. Видано рекомендації стосовно топології технологічних схем збагачення сировини.

In the article performed evaluation of the disclosure of indigenous titanium-phosphoric ores. Propose mathematical model that reveals the relationship between the degree of disclosure grains and size of the crushing ore. Define optimal crushing ore largeness. Recommendations were provided regarding the topology of technological schemes for the enrichment of raw materials.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.

Минеральный состав и технологические свойства минералов являются определяющими при выборе процессов обогащения, составляющих технологическую схему переработки полезных ископаемых (флотации, гравитации, магнитной сепарации или их сочетания).

Поэтому создание оптимальной технологии схемы подготовки руды к обогащению – главный фактор нормальной работы технологической схемы.

От характера же структуры руды будет зависеть оптимальная схема обогащения (набор и последовательность применяемых операций).

При этом текстурно-структурная характеристика наряду с минеральным составом является главнейшим качественным свойством руды.

Необходимая степень измельчения руды перед обогащением определяется характером вкрапленности рудных минералов, применяемыми методами обогащения, требованиями к качеству концентратов, последовательностью применяемых технологических процессов.

Чем тоньше конечная крупность измельчения руды, тем меньше остается минеральных сростков и тем больше вероятность получения качественных концентратов.

Однако, тонкое измельчение руды вызывает осложнения в обогатительных процессах: увеличивает затраты на измельчение, снижает производи-

тельность аппаратов и приводит к потерям ценных минералов со шламами, которые не поддаются разделению механическими методами, включая флотацию. В этом случае необходимо добиваться высокой селективности раскрытия, то есть максимальной степени раскрытия минералов при минимальной степени измельчения руды.

Анализ исследований и публикаций.

С целью определения особенностей подготовки руды к обогащению приведем алгоритм кристаллографических дефектов:

- тепловые колебания;
- точечные дефекты: вакансии, атомы внедрения, включения-примеси;
- линейные дефекты – дислокации;
- поверхностные дефекты: наружная поверхность твердого тела, границы зерен и другие внутренние границы.

Тепловые колебания атомов твердого тела имеют большое значение, но они не приводят к серьезным нарушениям идеальной структуры кристаллов, где каждый атом находится на своем месте.

Невыполнение условия идеальной системы приводит к образованию дефектов кристаллической решетки: точечных, линейных и поверхностных.

Отметим, что для создания избыточных дефектов на микроуровне необходимо создание условий возникновения дополнительной энергии на макроуровне.

При этом, хотя решетка, по-прежнему, в основном будет сохранять свою кристаллическую природу, однако внутри будут возникать многочисленные дефекты структуры.

Поэтому, механическая прочность твердых тел зависит главным образом именно от дислокаций. В свою очередь, предел прочности твердых тел зависит от сложных взаимодействий дислокаций друг с другом и с другими дефектами твердых тел.

Вопросами взаимосвязи раскрытия минерального сырья с показателями обогащения занимались такие ученые как Кармазин В.В., Кармазин В.И., Пилов П.И., Младецкий И.К., Барский Л.О., Абрамов А.А., Леонов С.Б., Остапенко П.Е., Берлинский О.И., Козин В.З. и другие [1 – 6].

Однако, разработка технологических схем обогащения полиминерального сырья, с учетом фактора раскрытия зерен, имеет множество нерешенных аспектов и сегодня остается одной из актуальных проблем.

Постановка задачи.

Как показал анализ вышеизложенного материала, измельчение сырья необходимо оценивать непосредственно степень раскрытия рудных и нерудных зерен.

При оценке раскрытия полезных ископаемых нами руда рассматривалась как полиминеральная система, которая состоит из 3 рудной, полезной и нерудной фаз и которая во время измельчения распадается на несколько продуктов: раскрытые рудные зерна, раскрытые полезные зерна, сростки та раскрытые нерудные зерна.

Изложение материала и результаты

Дробление исходной руды выполняли на установке, включающей шековую и конусную дробилки, работающих в замкнутом цикле с грохотом.

Измельчение руды проводилось в лабораторной шаровой мельнице с поворотной осью (тип 75А-МЛ) объемом 14 дм³, длиной 200 мм, диаметром 300 мм. Отношение Т : Ж : Ш при измельчении – 1 : 0,33 : 10, объем загружаемой навески составлял 12 % от объема мельницы. Пробы дробленной руды подвергались измельчению до разной крупности в открытом цикле при времени измельчения 5, 10, 20, 40 минут. По данным гранулометрического и минералогического анализов определялось раскрытие минеральных сростков и время, необходимое для измельчения продукта до 90 % готового класса.

Время измельчения, при работе мельницы в замкнутом цикле с грохочением, подбиралось, так чтобы при расसेве разгрузки мельницы на сите выход отсева составлял 10 – 15 %. Отсев загружался в мельницу вместе со следующей навеской.

Были исследованы три разновидности коренных титановых руд. Анализ результатов исследований показал, что они имели различную измельчаемость: более легкоразрушаемыми являлись меланократовые, затем мезо- и лейкократовые руды. Это обусловлено их минеральным составом, а именно, большим количеством в меланократовых рудах темноцветных минералов, интенсивно замещенных агрегатами тальк-магнетитового состава, хлоритом и серпентином, и меньшим количеством в этих рудах плагиоклаза, который является более прочным и менее разрушенным.

Подсчет параметров раскрытия минеральных сростков выполнялся согласно методики ОАО «Механобрчермет» по формуле

$$K_k = \frac{m}{k}, \quad (1)$$

где κ_k – степень раскрытия полезного компонента или нерудной фазы, д. ед.;
 m – содержание раскрытых компонентов рудных или нерудных зерен, д. ед.;
 k – содержание полезного компонента или нерудной фазы в руде, д. ед.

Оценка раскрытия минералов нами была связана с кинетикой измельчения. При раскрытии минеральных зерен титановых руд коренных месторождений Украины (рис. 1) было определено, что раскрытие ильменита, апатита, титаномагнетита и нерудной фазы, характеризуется степенным уравнением кинетики:

$$k_p = k_0 \times t^n \quad (2)$$

где k_0 – коэффициент раскрытия минералов в исходной руде, д. ед.;
 k_p – коэффициент раскрытия минералов в дробленой руде при заданном времени измельчения, д. ед.; t – время измельчения, мин; n – кинетический параметр уравнений.

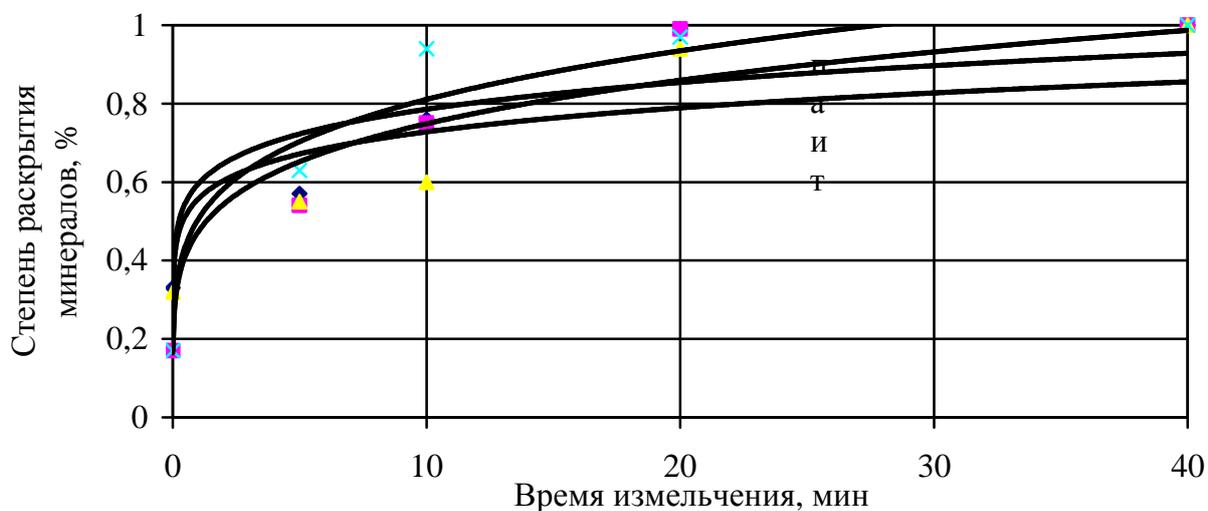


Рис. 1. Кривые кинетики раскрытия минеральных зерен: а - апатита; т - титаномагнетита, и - ильменита, п - плаггиоклаза

Значения коэффициентов и кинетические уравнения раскрытия минеральных зерен приведено в табл. 1.

В результате анализа результатов минералогического исследования раскрытия минеральных сростков и вида кинетических уравнений установлено, что раскрытие минералов в титановых коренных рудах происходит так: сна-

чала раскрываются нерудные минералы, в частности плагиоклаз, затем титаномагнетит и ильменит, и только потом – апатит, так как продуктивные минералы равномерно находятся в породообразующих минералах.

Таблица 1

Кинетические уравнения раскрытия минеральных зерен титановых руд

Ильменит	Апатит	Титаномагнетит	Плагиоклаз
$k_{pi} = 0,5953t^{0,1205}$ $R^2 = 0,9$	$k_{pa} = 0,4731t^{0,1993}$ $R^2 = 0,9737$	$k_{pt} = 0,5569t^{0,1164}$ $R^2 = 0,85$	$k_{pn} = 0,5051t^{0,2055}$ $R^2 = 0,982$

Кинетический анализ позволил определить количество стадий измельчения при последовательном выводе продуктов обогащения руды.

А это, в свою очередь, позволило обеспечить повышение извлечения ценных компонентов в одноименные концентраты, за счет минимизации шламообразования.

В результате изучения распределения титана, железа и фосфора по классам крупности измельченных проб определены следующие особенности.

Во всех пробах раскрытие ильменита и апатита происходит в классах крупности меньше 0,3 мм.

Нерудные минералы концентрируются в классе минус 1 мм.

В результате определения размеров основных минералов определено, что крупность зерен минералов изменяется в пределах: ильменита 0,1 – 1,0 мм, апатита 0,1 – 0,2 мм, темноцветных минералов (оливин, пироксен) 0,2 – 2,0 мм, плагиоклаза 0,15 – 3,0 мм.

Анализ кривых измельчения (рис. 2) показывает, что титановые коренные руды являются легко разрушаемыми, по сравнению с железными рудами магматических месторождений.

Для титановых руд характерно то, что с увеличением времени измельчения более 10 минут наблюдается уменьшение классов крупности более 0,2 мм и интенсивный прирост класса минус 0,04 мм.

Минеральный анализ показав, что свободные зерна нерудных минералов присутствуют в классах крупности минус 1,0 мм, а апатита и ильменита в классах крупности меньше 0,5 мм.

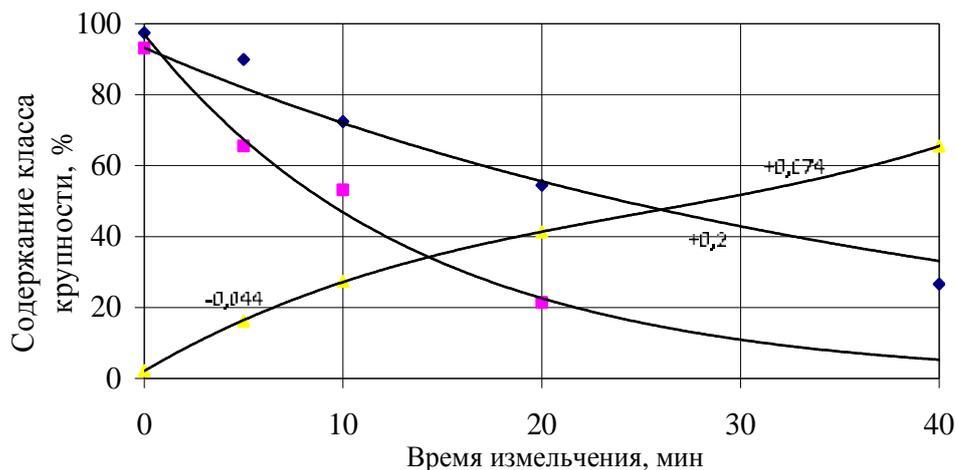


Рис. 2. Кривые кинетики измельчения классов крупности титановых руд коренных месторождений Украины

Кинетика увеличения класса минус 0,044 мм подчиняется полиномиальному уравнению со значением достоверности аппроксимации 0,9999 :

$$\beta_t^{-0,044} = a \times t^3 - b \times t^2 + c \times t + d \quad (3)$$

где $\beta_t^{-0,044}$ – содержание класса минус 0,044 мм в измельченной руде; a, b, c, d – кинетические коэффициенты, приведённые в табл. 2.

Таблица 2

Кинетические коэффициенты прироста класса минус 0,044 мм

a	b	c	d
0,0012	0,09	3,2874	2,117

В результате изучения кинетики измельчения титановых руд коренных месторождений (рис. 2) выявлено, что образование классов, в которых происходит раскрытие ильменита, апатита, титаномагнетита и плагиоклаза (классы -0,2 мм, -0,074 мм), хорошо подчиняются уравнению кинетики измельчения Товарова:

$$\beta_t^{+d} = \beta_0^{+d} \times e^{-kt} \quad (4)$$

где β_0^{+d} – суммарные остатки на ситах в исходной руде, %; β_t^{+d} – суммарные остатки на ситах в измельченной руде, %; t – час измельчения, мин.;

k, n – кинетические параметры уравнения, ($n = 1$).

Кинетические уравнения приведены в табл. 3.

Анализ кинетических уравнений позволил определить время измельчения, которое обеспечивает получение заданного содержания расчетного класса крупности в измельченном продукте.

При разработке технологических схем обогащения титановых руд коренных месторождений Украины это время составляет 10 минут.

Таблица 3

Кинетические уравнения измельчения титановых руд коренных месторождений

Класс +0,2 мм	Класс +0,074 мм
$\beta^{+d} = 97,007e^{-0,0728t}$	$\beta^{+d} = 93,225e^{-0,0259t}$
$R^2 = 0,982$	$R^2 = 0,9824$

С целью определения взаимосвязи между степенью раскрытия минеральных зерен и крупностью измельчения, которая выражается из кинетических уравнений измельчения, время t выглядит как:

$$t = -k_1 \times \ln(\beta_t^{+d}) + k_2 \quad (5)$$

где k_1, k_2 – кинетические параметры уравнения взаимосвязи ($\beta^{+d}; t$).

Подставим (5) в уравнение (6) и получим:

$$k_p = k_0 (-k_1 \times \ln(\beta_t^{+d}) + k_2)^n \quad (6)$$

Кинетические параметры уравнений (5), (6) представлено в табл. 4, значение коэффициентов для основных минералов в табл. 1.

Решив уравнение (6) получим теоретические значения коэффициента раскрытия минеральных зерен.

Результаты, полученные при выполнении экспериментов отличаются от модельных на 2 – 5 %, что подтверждает адекватность полученной математической модели.

Кинетические параметры связи раскрытия и измельчения титановых руд коренных месторождений Украины

Клас +0,2 мм		Клас +0,074 мм	
k_1	k_2	k_1	k_2
9,63	45,26	37,9	172,6
23,2	102,5	45,0	204,2
7,48	31,52	11,5	53,89
9,77	43,15	39,1	176,9

Выводы и направление дальнейших исследований

В результате выполненных исследований удалось установить, что чем тоньше конечная крупность измельчения руды, тем меньше остается минеральных сростков и тем большая достоверность получения качественных концентратов.

Однако, тонкое измельчение руды вызывает осложнения в обогащательных процессах: увеличивает расходы на измельчение, снижает производительность аппаратов и приводит к увеличению потерь ценных минералов со шламами, которые практически не разделяются механическими методами обогащения полезных ископаемых.

Поэтому необходимо обязательное стадийное измельчение с постепенным выводом продуктов и распределением схемы обогащения на несколько технологических блоков.

Таким образом, в результате изучения раскрытия и измельчения материала проб титановых руд коренных месторождений Украины установлено, что технологическую схему обогащения необходимо разделить на три блока – титаномагнетитовую, ильменитовую и апатитовую.

Деление необходимо осуществлять по классу 0,2 мм в связи с концентрацией апатита в мелких классах.

Поскольку ильменит распределен по классам равномерно, то в апатитовом блоке его необходимо извлекать в отдельный концентрат.

В ильменитовом блоке необходимо предусмотреть дополнительную стадию измельчения сырья.

Кроме этого, в голове процесса сначала необходимо извлечь титаномагнетит.

Список литературы: 1. Кармазин В.В. Расчеты технологических показателей обогащения полезных ископаемых: учебное пособие / В.В. Кармазин, И.К. Младецкий, П.И. Пилов. – М.: Изд. Мос-

ковского государственного горного университета, 2006. – 221 с. **2.** *Леонов С.Б.* Исследование полезных ископаемых на обогатимость: учебное пособие / *С.Б. Леонов, О.Н. Белькова.* – М.: Интернет Инжиниринг, 2001. – 631 с. **3.** *Бибов А.А.* Стадиальное выделение железорудных концентратов – резерв повышения качества и объёмов производства / [*А.А. Бибов, Л.А. Ломовцев, Л.Ф. Рычков и др.*] // Горный журнал. – 1981. – № 2. – С. 52 – 55. **4.** *Пилов П.И.* Динамические характеристики технологии обогащения полезных ископаемых // *П.И. Пилов, И.К. Младецкий, В.А. Святошенко* // Горн. информ.-аналит. бюллетень. – 2003. – № 8. – С.178 – 179. **5.** *Лисянский Л.И.* Влияние топологии схемы обогащения окисленных железных руд на её эффективность и энергопотребление/ [*Л.И. Лисянский, М.А. Левицкий, Т.Б. Ганзенко и др.*] // Пути экономии ресурсов при обогащении руд чёрных металлов. – М.: Недра, 1990. – С. 35 – 41. **6.** *Соколова В.П.* Исследование раскрытия минеральных фаз окисленных железных руд в связи с выбором рациональной технологии их обогащения // *В.П. Соколова, С.Н. Зима, Н.К. Воробьёв* // Разработка рудных месторождений. – 2003. – № 83 – С. 105 – 109.

Поступила в редколлегию 15.03.10