

УДК 622. 349.36 (574)

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РУДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ**Козлов В.А., Нуржанова С.Б., Жанабай Ж.Д., Алимжанова А.М., Портнов В.С.,
Турсунбаева А.К., Далабаев Д.Б.***Карагандинский государственный технический университет,
Караганда, e-mail: dalabayev.dias@gmail.com*

Проблема, рассмотренная в данной работе, относится к разделу о металлургии. Авторами изучен химический состав рудных прослоев электронно-зондовым микроанализом, проведён научный обзор работы и предложены рекомендации, по совершенствованию процессов рудоподготовки труднообогатимого сырья редких и редкоземельных металлов. Научная новизна работы заключается в решении частной научной задачи, которая позволит избежать неоправданных энергетических, временных и трудовых затрат на проведение как самого этапа рудоподготовки, так и следующих стадий последовательного извлечения металлов, а также дать на выходе оптимальный размер частиц механически или физически подготовленного материала, позволяющий обеспечить необходимую площадь взаимодействия минералов с реагентами на последующих этапах переработки руды и сократить время массопереноса к границе взаимодействия.

Ключевые слова: ценные компоненты, редкие и редкоземельные металлы**STUDYING ORE PREPARATION PROCESS
FOR EXTRACTING VALUABLE COMPONENTS****Kozlov V.A., Nurzhanova S.B., Zhanabaj Z.D., Alimzhanova A.M., Portnov V.S.,
Tursunbaeva A.K., Dalabayev D.B.***Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: dalabayev.dias@gmail.com*

The problem considered in the work relates to the field of metallurgy. The authors studied the chemical composition of ore interlayers with the help of electronic probe micro-analysis, there has been made a scientific review of the work and suggested recommendations to improve the processes of ore-preparing for hard-cleaning raw rare and rare-earth metals. The scientific novelty of the work consists in solving a private scientific problem that will permit to avoid an unjustified power, time and labor costs for carrying out both the stage of ore-preparing itself and the following stages of consecutive extracting metals, as well as to give at the output the optimal size of mechanically or physically prepared material that permits to ensure the necessary area of minerals interaction with reagents at the following stages of ore treatment and to reduce the time of mass transfer to the interaction boundary.

Keywords: valuable components, rare and rare-earth metals

К настоящему моменту в Казахстане разведаны и находятся на различных стадиях освоения более 130 месторождений руд редких и редкоземельных металлов (Р и РЗМ). Эти руды являются комплексными, тонко- и, порой, ультрадисперсными по ценным компонентам, труднообогатимы. Чрезвычайная распыленность минералов концентрирования Р и РЗМ в этих «упорных» рудных месторождениях практически всегда приводит к экономической нецелесообразности их отдельной разработки существующими способами и требует специфических технологических решений для вовлечения в активную переработку. В результате имеет место ситуация, когда практически все руды Р и РЗМ отнесены к категории забалансовых, а сами ценные металлы производятся (а, точнее, производились в советское время) на предприятиях лишь как попутные при добыче и извлечении базовых цветных металлов (медь, цинк, свинец, алюминий, никель), либо из специально завезенных извне концентратов Р и РЗМ. С распадом экономических связей в СНГ на ведущих перерабатывающих предприятиях подотрасли в РК (Ир-

тышский ХМЗ и АО «Каскор») произошел резкий спад производства РЗМ по причине прекращения поставок сырья. В настоящее время на предприятиях ГК РК и РФ практически остановлен выпуск индивидуальных металлов этой категории [1].

В силу своего происхождения руды Р и РЗМ относят к доманиковым образованиям (ДО), состоящим из глинистого вещества (компонент 1), органического вещества (ОВ) (компонент 2), кремнеземистого аморфного вещества (компонент 3) и вещества в основном аккумулирующего ценные металлы (компонент 4). В нашем случае объектом интереса естественно является компонент 4, представленный, как правило, гаммой минералов, содержащих все извлекаемые металлы и диспергированных во вмещающей породе. Взаимодействие минералов с вводимыми в процессе переработки реагентами в водной среде определяется особенностями и специфическими различиями минералов (изоморфизм, генезис, энергия кристаллической решетки, характер раскрытия ненасыщенных химических связей, распространение некомпенсированных зарядов на поверхности зерен и т.д.).

В идеале металлургическая технология выводит из оборота компоненты 1, 2, 3 (вмещающие породы) на предварительных стадиях и извлекает металл из компонента 4 в основном переделе. Однако вещество 4 в случае Р и РЗМ тонкодисперсно распределено во вмещающей породе и легко отделить его практически невозможно. Взаимопроникновение всех четырех упомянутых компонентов настолько масштабно и содержание ценных компонентов настолько низкое, что современные промышленно освоенные методы концентрирования (гравитация, флотообогащение и др.) показывают «размывание» металлов по разделяемым фазам и не позволяют рентабельно извлекать из руд металлы.

Таким образом, несмотря на то, что только механическими или физическими методами (дробление, измельчение и последующие гравитация, сепарация и т.д.) невозможно эффективно обогатить этот вид руд, стадия рудоподготовки во всей технологической цепочке производства металлов необходима, т.к. позволяет многократно увеличить площадь контакта для реакций последующего гидрохимического вскрытия породы и отдельных стадий группового концентрирования металлов, а также зачастую снижать без ущерба для извлечения массу перерабатываемого материала в голове процесса. Процесс дробления-измельчения должен обеспечивать предельную крупность зерен измельчаемого продукта в определенном диапазоне (0,20–0,25 мм на примере представленных образцов руд) и его гранулометрический состав с ограничением по содержанию мельчайшего класса в зависимости от конкретного месторождения руд Р и РЗМ на основании следующих положений:

– компоненты (глина, кремнезем, ОВ) в рудовмещающей породе образуют взаимопроницающий сеточный «каркас», в котором распределен целевой компонент, и для эффективного раскрытия полезных минералов и перехода в раствор ценных металлов степень измельчения должна быть достаточно высокая. Высокая степень измельчения означает и высокий процент самого низкого класса (как правило – 0,74 мкм) в гранулометрическом составе после рудоподготовки.

– при переизмельчении руды глинистый и органический компоненты каркаса в виде мельчайших зерен при последующем гидрометаллургическом выщелачивании начинают переходить в раствор (щелок) и как природные сорбенты концентрировать на себе ценные металлы, тормозя последующие процессы сорбции на специально по-

добранных и введенных искусственных сорбентах группового извлечения. Как результат, имеет место конкуренция между искусственными (полезными) и природными (вредными) сорбентами, снижающая сквозное извлечение и увеличивающая длительность и соответственно производительность следующих за рудоподготовкой переделов.

– при оптимальной степени измельчения и гранулометрическом составе обеспечивается такая крупность, при которой ценные металлы могут переходить в продуктивный раствор при выщелачивании без радикального разрушения «каркаса», облегчая оседание последнего в донную фазу (шламообразование) с полнейшим выводом ее из процесса и препятствуя образованию в растворе природных центров сорбирования [2, 3].

В исследованиях использовались образцы руд месторождений Кундыбай и Балаусаскандык, как типичных представителей руд первой и второй групп, соответственно. Типичный химический состав руд Р и РЗМ приведен в табл. 1.

Таблица 1
Содержание компонентов в руде, %

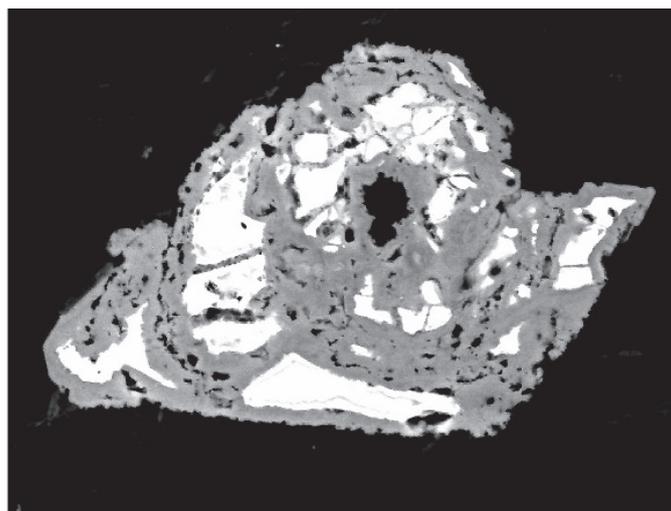
Номера проб	V2O5	РЗМ	С	Мо
Проба 001	1,5	0,064	14	0,03
Проба 002	1	0,05	8	0,009
Проба 003	0,9	0,034	6	0,0075
Проба 004	1,2	0,025	10	0,05
Проба 005	1,3	0,078	12	0,01
Проба 006	0,8	0,02	7	0,04
Проба 007	1,2	0,042	12	0,008
Проба 008	0,8	0,02	5	0,0064
Проба 009	1	0,072	9	0,03
Проба 010	1,4	0,064	13	0,02
Среднее содержание	1,1	0,047	10	0,021

Крупность зерен, до которой надо измельчить исходный материал, определяется размером вкрапленности полезных минералов. Эту крупность необходимо установить опытным путем при исследовании обогатимости. Так как основные капитальные и эксплуатационные затраты при рудоподготовке связаны с процессами дробления и измельчения, ошибки при расчете и выборе оборудования являются главными причинами низкой производительности обогатительного участка, снижения объемов товарной продукции и нерационального использования энергии [4]. Базовыми характеристиками, на основании которых рассчитывались параметры (размеры, мощность) промыш-

ленных дробилок и мельниц, являются объемная плотность, пределы прочности руды при сжатии и растяжении, а также индексы дробимости, абразивности, стержневого и шарового измельчения, определяемые по методикам Ф. Бонда (США); индексы само/полусамоизмельчения (ПСИ), определяемые по методике Дж. Старкея (Канада).

Исследования фазово-минералогического состава показали, что основная ткань породы состоит из тонкозернистого кварца,

зерна которого имеют неправильную продолговатую форму и тесно соприкасаются друг с другом. Одной из важнейших черт ДО, в целом представляющего собой пачку пород черного цвета, обусловленного присутствием ОВ, является сетчатая структура. Химический состав рудных прослоев изучен электронно-зондовым микроанализом при расфокусированном зонде (табл. 1, рисунок), где ясно прослеживаются листочки металлоносных слюд (светло-серое, белое).



70мкм

Микрофотография образца породы

Таблица 2
Химический состав рудных прослоев

Компоненты	Содержание в руде, %
SiO ₂	70,50
C	10,30
V ₂ O ₅	1,100
MoO ₃	0,030
PЗЭ	0,065
Fe ₂ O ₃	5,400
Al ₂ O ₃	4,600
CaO	3,420
BaO	0,860
P ₂ O ₅	0,710
MnO	0,200
MgO	0,520
S ²⁻ (сульфиды)	1,950
SO ₄ ²⁻ (сульфаты)	0,120
Прочие	0,500

Данные рисунка и табл. 2 подтверждают, что основную часть месторождения Р и РЗМ составляют кремнезем, сульфиды, слюды и углеродистое вещество.

Следовательно, на стадии рудоподготовки схема комплексной переработки руд с извлечением всех ценных компонентов, включая Р и РЗМ, должна решать следующие задачи:

1) избежать неоправданных энергетических, временных и трудовых затрат на проведение как самого этапа рудоподготовки, так и следующих стадий последовательного извлечения металлов;

2) дать на выходе оптимальный размер частиц механически или физически подготовленного материала, позволяющий обеспечить необходимую площадь взаимодействия минералов с реагентами на последующих этапах переработки руды и сократить время массопереноса к границе взаимодействия (табл. 3).

Таким образом, предложенная в исследовании компоновка технологической схемы с ее аппаратным оснащением позволяет решить неизбежные сопутствующие проблемы подготовки руд Р и РЗМ и облегчить проведение последующей стадии гидрометаллургического вскрытия при высокой степени дальнейшего группового извлечения компонентов для получения порошковых материалов.

Таблица 3

Гранулометрическая характеристика продуктов измельчения

Класс крупности, мм	Выход классов крупности, %			
	дробленая руда, г	разгрузка мельницы, г	надрешетный продукт грохота, г	подрешетный продукт грохота (измельченный продукт), г
-10,0 + 5,0	63,42	-	-	-
-5,0 + 2,0	22,25	-	-	-
-2,0 + 1,0	2,22	-	-	-
-1,0 + 0,63	2,15	-	-	-
-0,63 + 0,315	2,72	25,74	81,45	-
-0,315 + 0,250	0,82	5,28	9,42	3,74
-0,250 + 0,160	1,10	9,44	3,58	11,02
-0,160 + 0,100	1,05	9,06	1,25	14,47
-0,100 + 0,074	0,91	7,87	0,66	9,89
-0,074 + 0,00	3,37	42,61	3,65	60,88
Итого:	100,0	100,0	100,0	100,0

Список литературы

1. Раденко И.Л., Корецкая Т.Л. Перспективы редкоземельного оруденения в комплексных месторождениях Казахстана // Геология Казахстана. – 2001. – № 1. – С. 21–40.
2. Андреев С.Е. Законы дробления // Горный журнал. – 1952. – №7.
3. Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного минерального сырья: материалы межд. совещ. – Екатеринбург, «Форт Диалог-Исеть», 2011.
4. Андреев С.Е., Говаров В.В., Перов В.А. Закономерности измельчения и вычисления характеристик гранулометрического состава // Металлургиздат, 1959.
5. Козловский Е.А. Горная энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1991.
6. Carr D.D. Littleton. Rare earth minerals // Industrial Minerals and Rocks. – 1994. – 6th edition. – P. 827–839.

References

1. Radenko I.L., Koreckaja T.L. *Perspektivy redkozemel'nogo orudnenija v kompleksnyh mestorozhdenijah Kazahstana. Geologija Kazahstana-Prospects for rare earth mineralization in the complex fields of Kazakhstan*, 2001, no.1, pp. 21–40.
2. Andreev S.E. *Zakony droblenija. Gornyj zhurnal – Laws of crushing*, 1952, no.7.

3. *Novye tehnologii obogawenija i kompleksnoj pererabotki trudnoobogatimogo prirodnoho i tehnogennogo mineral'nogo syr'ja-New enrichment and processing of complex natural and industrial refractory minerals*. Mat. mezhd. sozew. Ekaterinburg, «Fort Dialog-Iset'», 2011.

4. Andreev S.E., Govarov V.V., Perov V.A. *Zakonomernosti izmel'chenija i vychislenija harakteristik granulometricheskogo sostava-Regularities of pounding and calculate the characteristics of the particle size distribution*. Metallurgizdat, 1959.

5. Kozlovskij E.A. *Gornaja jenciklopedija-Mountain Encyclopedia. Sovetskaja jenciklopedija*, 1991.

6. Carr D.D. Littleton. *Rare earth minerals. Industrial Minerals and Rocks*. 1994. 6th edition. pp. 827–839.

Рецензенты:

Ходжаев Р.Р., д.т.н., директор ТОО «Научно-инженерный центр «ГеоМАРК», г. Караганда;

Данияров Н.А., д.т.н., зам. директора по научной работе ДГП «КазНИИ БГП», г. Караганда;

Пачурин Г.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «ПБиЭ» Нижегородского государственного технического университета, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 25.01.2012.