

А.В. РУДИЦКИЙ

(Украина, Днепропетровск, НПФ "Магнитные и гидравлические технологии"),

К.А. ЛЕВЧЕНКО, В.М. БОГДАНОВ, В.В. ДЕМЕНТЬЕВ, кандидаты техн. наук

Л.А. ШАТОВА

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВНЗ "Национальный горный университет")

ТЕХНОЛОГИЯ СУХОГО МАГНИТНОГО ОБОГАЩЕНИЯ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ РУД

В Демократической Республике Конго (ДРК) широко вовлекаются в переработку стратиформные месторождения Медного пояса Африки, представляющего собой часть верхнепротерозойско-кембрийской Катангской складчатой области и протягивающегося почти на 700 км при ширине 20...80 км (в среднем 50 км) от месторождения Ндола (Ndola) на востоке Замбии через ДРК на запад Анголы. Медный пояс состоит из ряда рудных зон, в которых локализовано до ста меднорудных объектов со средним содержанием меди равным 1,16%, максимальное составляет – 5...8%.

В большинстве случаев, обогащение медных руд производится методом флотации и окислительного обжига [1].

Метод флотации основан на использовании различной смачиваемости медьсодержащих частиц и пустой породы. Сущность флотации состоит в избирательном прилипании минеральных частиц медных минералов, взвешенных в водной среде, к поверхности пузырьков воздуха, с помощью которых эти минеральные частицы поднимаются на поверхность. Метод позволяет получать медный концентрат, содержащий 10...35% меди.

Применение метода флотации связано с использованием поверхностно-активных веществ (реагентов) и поэтому зачастую ограничено законодательными актами из-за вероятности заражения хвостами сепарации окружающей среды.

В мире наметилась тенденция к совершенствованию технологии и увеличению доли гидрометаллургических процессов в добыче меди. Суть процесса сводится к обработке медной руды растворителем с последующим осаждением металла из раствора. В качестве растворителя чаще всего применяется серная кислота, реже – раствор сульфата железа. Существует несколько способов выщелачивания меди из руды: подземное, кучное, чановое.

Гидрометаллургические методы получения меди нашли применение при переработке бедных труднообогатимых медьсодержащих руд, когда флотация не обеспечивает удовлетворительного ее извлечения, при этом руда не должна содержать в значительном количестве карбонатных и других кислоторастворимых минералов породы. Применение метода ограничено обеспечением охраны окружающей среды и высокой себестоимостью организации процесса.

В данной статье рассмотрен сухой магнитный метод обогащения медьсодержащей руды.

Магнітна і електрична сепарація

Научно-производственной фирмой "Магнитные и гидравлические технологии" совместно с кафедрой обогащения полезных ископаемых Национального горного университета были проведены лабораторные исследования на обогатимость пробы окисленной медной руды месторождений Медного пояса Африки (провинция Катанга). Основным требованием заказчика было необходимость применения сухих методов обогащения, из-за сложности реализации в конкретных условиях мокрой технологии обогащения, и получение концентрата с содержанием меди не менее 30%.

Крупность представленной пробы составляла -1,0 мм при содержании окиси меди (CuO) 19,0%. Завышенное содержание окиси меди объясняется тем, что исходная проба перед дроблением и измельчением была подвергнута ручной рудоразборке. Минералогический состав пробы представлен в табл. 1

Таблица 1

Минерал	Медьсодержащие					Железо-содержащие (магнетит, гематит, гидроокислы)
	малахит $\text{Cu}_2[\text{CO}_3] \cdot (\text{OH})_2$	куприт Cu_2O	аурихальцит $(\text{Zn}, \text{Cu})_5 \cdot (\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$	хризоколла $\text{Cu}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	самородная медь	
Содержание, %	26,0	3,5	3,0	2,0	0,5	11,0

Продолжение табл. 1

Минерал	Кобальт-содержащие гетерогенит (CoOOH)	Породные			
		кварц	кальцит	барит	аморфное вещество
Содержание, %	5,0	33,0	1,0	0,5	14,5

Известно [2], что малахит и хризоколла обладают слабомагнитными свойствами и их удельная магнитная восприимчивость составляет соответственно $10 \dots 25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$ и $6 \dots 6,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$. К немагнитным следует отнести все остальные минералы, а именно: куприт с удельной магнитной восприимчивостью равной – $0,05 \dots 0,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$, самородная медь – $0,0163 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$ и аурихальцит. Среди породных минералов магнитными свойствами обладают железосодержащие минералы: магнетит, гематит и гидроокислы железа. Поэтому на первом этапе был выполнен магнитный анализ с целью определения обогатимости пробы магнитным методом, так как основным медьсодержащим минералом является малахит, содержание которого составляет до 26%.

Магнитный анализ проводился на барьерном магнитном сепараторе "Туркенич", согласно схемы, представленной на рис. 1. Перед проведением магнитного анализа проба подвергалась предварительному обесшламливанию по классу 0,063 мм.

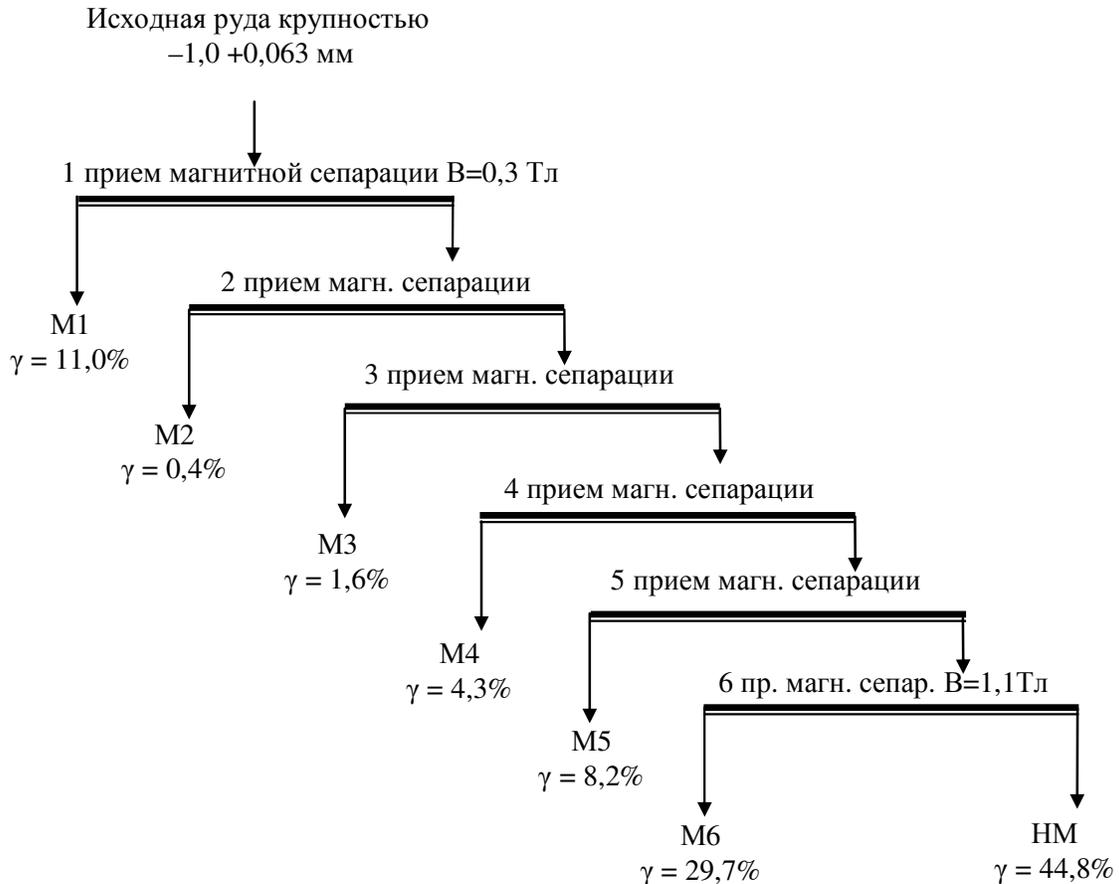


Рис. 1. Схема проведения магнитного анализа

Всего выделено 7 продуктов: 6 магнитных и один немагнитный. Как видно со схемы контрольной пересортировке подвергался немагнитный продукт при повышенной индукции магнитного поля. Минимальное значение индукции магнитного поля составляло 0,3 Тл, а максимальное – 1,1 Тл. Полученные продукты были подвергнуты минералогическому анализу. Результаты анализа представлены в табл. 2.

При проведении минералогического анализа было установлено, что самородная медь и куприт выделились в магнитный продукт вследствие того, что дендриты и пластинки самородной меди имеют включения магнетита или гематита (скорее всего, имеется ввиду мартит).

Поверхность кристаллов кварца покрыта тонкими пленками гидроокислами железа или меди.

Магнітна і електрична сепарація

Таблиця 2

Минералогический состав проб магнитного анализа							
№ пробы Минерал	Магнитные						Немагнитные
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Проба № 4	Проба № 5	Проба № 6	Проба № 7
Малахит	5,0	30,0	15,0	30,0	50,0	60,0	15,0
Самородная медь	1,0	1,5	2,0	–	–	–	–
Хризоколла	зн.	–	–	–	–	–	–
Аурихальцит	–	–	–	–	–	10,0	–
Аморфное вещество (стекловатого облика)	50,0	40,0	60,0	50,0	15,0	10,0	5,0
Магнетит + мартит	35,0	3,0	3,0	–	–	–	–
Гидроокислы железа	–	1,0	1,0	10,0	15,0	5,0	10,0
Кварц	5,0	20,0	15,0	10,0	20,0	10,0	70,0
Обломки вмещающих пород	4,0	4,5	1,0	–	–	5,0	–
Куприт	–	–	3,0	–	–	–	–
ИТОГО	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Исходя из результатов магнитного анализа, была предложена схема обогащения, которая включала следующие операции: обесшламливание продукта по классу $-0,063$ мм, магнитная сепарация в скальпирующем режиме при пониженной индукции магнитного поля для выделения железосодержащих минералов, имеющих высокую удельную магнитную восприимчивость, и выделение малахита при индукции магнитного поля равной 1,1 Тл. Предложенная схема обогащения изображена на рис. 2.

Все продукты обогащения были подвергнуты химическому анализу, результаты которого представлены в табл. 3.

Таблиця 3

Содержание основных химических элементов в продуктах разделения								
Продукты	Содержание, %							
	Cu	Fe	Si	Al	Co	Mn	Ni	Ca
Исходный	15,6	7,0	16,6	1,9	1,3	0,3	<0,1	1,3
Сильно магнит.	13,2	21,1	4,1	1,6	2,4	0,42	<0,1	2,5
Магнит	36,7	7,7	10,8	1,5	1,8	0,36	<0,1	0,8
Немагнит.	2,1	0,6	24,6	1,9	0,3	0,12	<0,1	1,2
Шламы	11,3	6,9	20,4	3,1	1,6	0,42	<0,1	1,2

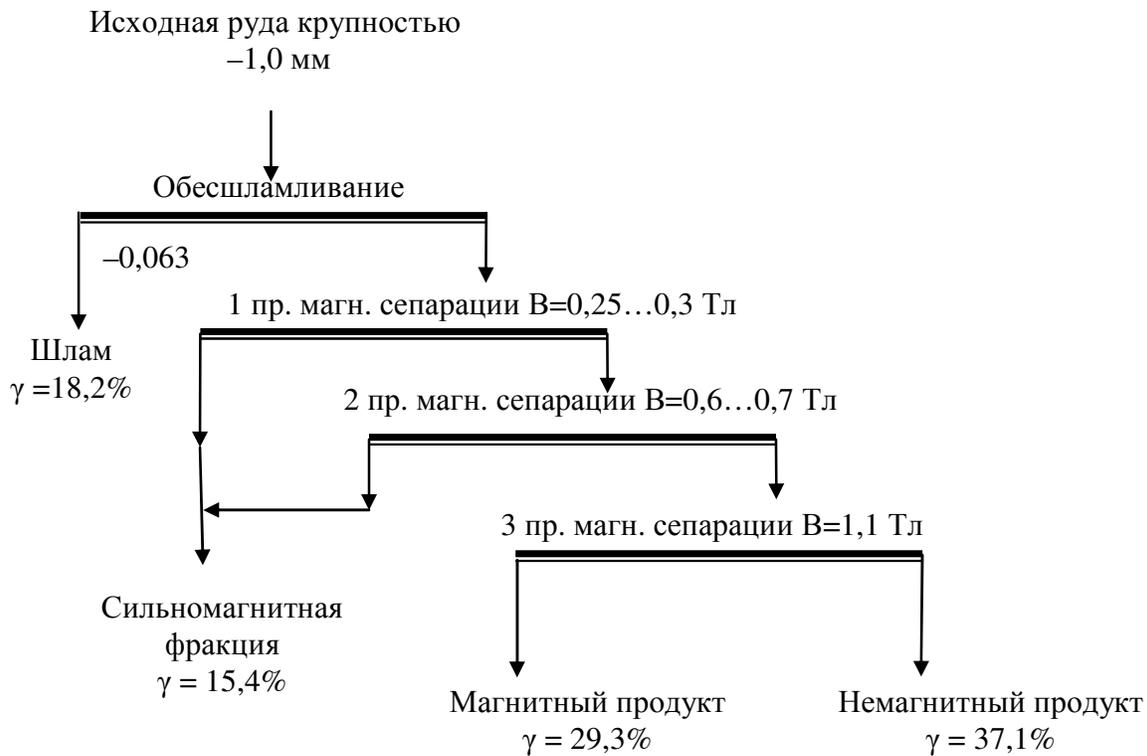


Рис. 2. Схема обогащения пробы медной руды ДР Конго

Как видно со схемы обогащения и табл. 2, количество шламов в исходной руде составило 18,2% с содержанием меди 11,3%. Сильномагнитная фракция выделялась в два приема при индукции магнитного поля соответственно 0,25...0,3 Тл и 0,6...0,7 Тл. Содержание меди в данной фракции составило 13,2%. Количество слабомагнитной фракции составило 29,3%, с содержанием меди 36,7% при ее извлечении 68,8%. Немагнитная фракция, выход которой составил 37,1%, содержала 2,1% меди.

Содержание кобальта по продуктам разделения, также перераспределилось. В классе -0,063 мм, его содержание составило 1,6%; в сильномагнитной фракции – 2,4%; в слабомагнитной фракции – 1,8% и в немагнитной – 0,3%.

Для реализации данной технологии НПФ "Магнитные и гидравлические технологии" разработана схема цепи аппаратов, представлена на рис. 3.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлена возможность обогащения медных руд месторождений Медного пояса Африки сухим способом с использованием метода магнитной сепарации, при этом выделено 29,3% материала с содержанием меди 36,7%, при ее извлечении 68,8%.

Для определения технологических показателей барьерного электромагнитного сепаратора "Туркенич" и повышения показателей обогащения необходимо провести дополнительные исследования, которые будут также включать исследования по определению класса крупности руды, при котором происходит раскрытие медьсодержащих минералов.

Магнітна і електрична сепарація

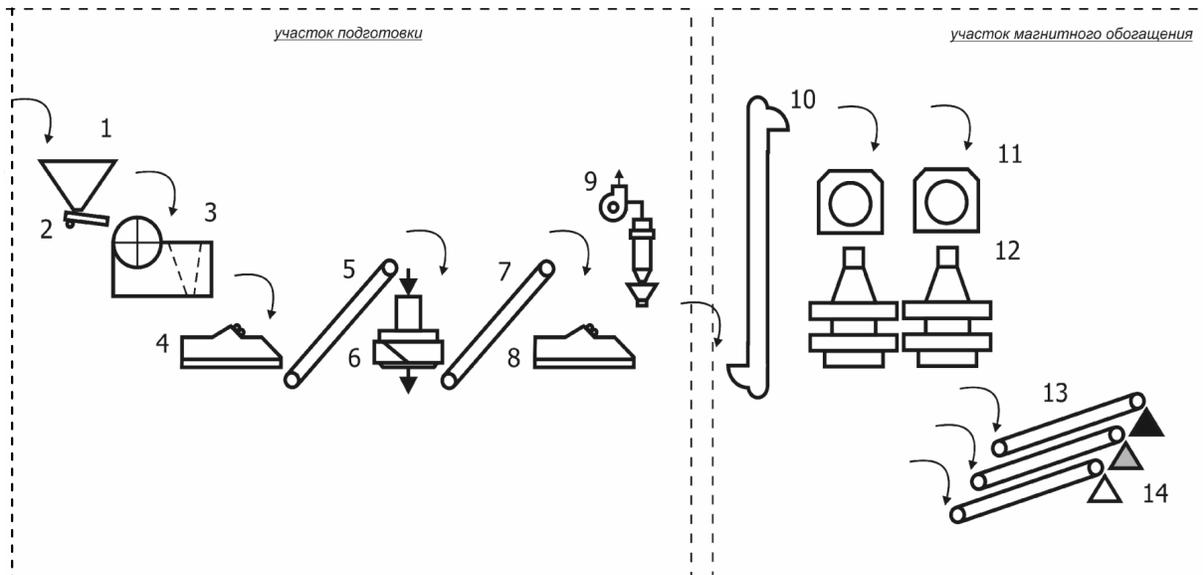


Рис. 3. Схема цепи аппаратов для реализации предлагаемой технологии:
1 – накопительный бункер исходной руды; 2 – вибропитатель; 3 – щековая дробилка;
4, 8 – виброгрохота; 5, 7, 13 – конвейера; 6 – центробежная мельница;
9 – система обеспыливания; 10 – элеватор;
11 – барабанные магнитные сепараторы с индукцией магнитного поля до 0,7 Тл;
12 – барьерный магнитный сепаратор "Туркенич";
13 – склад готового концентрата

Список литературы

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: Учебник для вузов. В 3 т. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – Т. II Технология обогащения полезных ископаемых. – 510 с.
2. Минералогический справочник технолога-обогатителя / Б.Ф. Куликов, В.В. Зуев, И.А. Вайншенкер, Г.А. Митенков. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1985. – 264 с.

© Рудицкий А.В., Левченко К.А., Богданов В.М., Дементьев В.В., Шатова Л.А., 2014

*Надійшла до редколегії 14.08.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*