

## Загальні питання технології збагачення

$$p_2 = \frac{V_2 + \Delta V_3}{V_K} = 0.0062, \quad p_1 = \frac{V_1}{V_K} = 0.0006, \quad p_0 = \frac{V_0 + \Delta V_2 + \Delta V_0 + \Delta V_1}{V_K} = 0.0022$$

Таким образом поступаем для всех классов крупности, которые составляют смесь, поступающую на измельчение. В результате получена функция распределения частиц по крупности на выходе измельчения  $F_{\text{ВЫХ}}(d)$ , которая

Таблица

$d, \text{мм}$	1	2	4	8	16	32	64	128
$F_{\text{ВЫХ}}(d)$	0.02	0.04	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	1.0
$F_{\text{ВЫХ}}(d)$	0.1336	0.171	0.3763	0.5848	0.8237	0.9247	1.0	1.0

полностью совпадает с экспериментальными исследованиями. Дальнейшие работы будут направлены на поиск количественного совпадения, которое заключается в определении знаменателя прогрессии разрушения в зависимости от скорости приложения нагрузок и механических свойств полезного ископаемого.

*Надійшла до редколегії  
Рекомендовано до публікації*

УДК 622.341

**Е.Н. КРАВЦОВ, В.Н. КРАВЦОВ**, канд. техн. наук  
(Украина, Кривой Рог, Криворожский технический университет)

### ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ РУД ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ КРИВБАССА

Розглянуто питання технології при отриманні якісного концентрату з багатих Окислених залізних руд підземного видобутку Кривбасу. Експериментально визначена параметри процесів рудопідготовки та збагачення руд, які забезпечують одержання концентрату з масовою часткою кремнезему до 0,3%.

**Ключові слова:** рудопідготовка, технологія, сеперконцентрат, залізна руда, вихід, кремнезем.

Рассмотрены вопросы технологии при получении качественного концентрата из богатых окисленных железных руд подземной добычи Кривбасса. Экспериментально определены параметры процессов рудоподготовки и обогащения руд, обеспечивающие получение концентрата с массовой долей кремнезема до 0,3%.

**Ключевые слова:** рудоподготовка, технология, суперконцентрат, железная руда, выход, кремнезем.

В современной промышленности Украины используются богатые окисленные железные руды подземной добычи, без обогащения. По вещественному составу эти руды в основном содержат мартит, в небольших

## Загальні питання технології збагачення

количествах гетит, карбонаты и силикаты железа. В то же время целый ряд отраслей промышленности ощущают нехватку железорудного концентрата с высокой массовой долей железа т.е. в суперконцентрате. Удовлетворить этот недостаток можно получением из богатых окисленных железных руд подземной добычи Кривбасса высококачественного концентрата.

В течение ряда лет в Украине проводятся исследования по разработке технологии обогащения указанных руд с массовой долей кремния менее 0,3% различными способами: магнитным, магнитно-гравитационным, флотационным, химическим обогащением. Выделить более чистые концентраты способами механического обогащения до сих пор не удавалось. И поэтому ни один из предложенных не стал универсальным, так как эффективно обогащаются лишь узкие классы крупности.

Неоднородность состава и строения залежей богатых железных руд подземной добычи Кривбасса объясняется аутогенной зональностью исходных минеральных тел (стратиграфических горизонтов), неоднородностью проработки гипогенными процессами (метасоматозом, гидротермальным минералообразованием), а также вертикальной зональностью наложенных гипергенных образований. Влияние каждой из них проявлено в рудных частицах по-разному.

Для экспериментальных исследований по разработке технологии получения суперконцентрата были подготовлены представительные пробы с горизонта 1110 м шахты "Гвардейская". Данные пробы в полной мере характеризуют залежь мартитовой руды на горизонте. Массовая доля железа в пробах составляла от 64,5 до 65,05%, а кремнезема – от 24,4 до 3,7%. Месторождение относится к конвергентным образованиям железной руды [1, 2].

Главная особенность вещественного состава проб богатых железных руд в том, что они сложены тремя разновидностями гематита, образуя самостоятельные рудные слои (мартит, дисперсный гематит, железная слюдка). Соотношение и размещение этих разновидностей в залежах отражает зональность горизонтов железных руд. Сопутствующими минералами являются гидрослюд и каолины, а основным нерудным – кварц.

Высокая пористость и полурыхлое сложение руд указывают на природную дезинтеграцию минеральных агрегатов.

Вкрапленность рудных зерен составляет 0,1–0,7 мм. Ситовый состав исходных проб и распределения железа, кремнезема по классам крупности показал, что руда в крупности измельчения до 0,1 мм практически раскрыта. Ситовый состав исходных проб окисленной железной руды шахты "Гвардейская" приведен в табл. 1.

*Таблица 1*

## Загальні питання технології збагачення

Клас крупности, мм	Выход, %	Массовая доля, %		Извлечение железа, %	Степень раскрытия рудных частиц, %
		Fe <sub>общ.</sub>	SiO <sub>2</sub>		
+2,0	12,1	63,0	4,9	11,7	22,3
-2,0+1,0	6,0	68,9	1,0	6,4	48,9
-1,0+0,5	10,1	67,4	2,5	10,5	60,6
-0,5+0,25	8,1	68,2	1,1	8,5	76,2
-0,25+0,16	10,0	67,7	1,6	10,4	85
-0,16+0,1	5,5	63,9	4,3	5,4	98
-0,1+0,074	10,6	62,0	6,8	10,1	100
-0,074+0,044	7,5	63,0	4,6	7,3	100
-0,044	30,1	64,4	4,2	29,7	100
Итого:	100	65,05	3,72	100	
Проба 2					
+2,0	11,8	63,2	4,7	11,6	32,4
-2,0+1,0	6,5	68,9	1,0	6,9	41,1
-1,0+0,5	9,2	63,1	4,6	9,0	66,8
-0,5+0,25	7,9	62,1	6,9	7,6	77,5
-0,25+0,16	9,2	63,0	4,6	9,0	84
-0,16+0,1	6,3	68,9	1,0	6,7	96
-0,1+0,074	10,3	68,7	1,1	11,0	100
-0,074+0,044	6,6	67,9	1,5	6,9	100
-0,044	32,2	62,6	6,6	31,3	100
Итого:	100	64,5	4,4	100	

Наиболее богатые по массовой доле железа в пробах руды – классы -0,16+0,1 мм. Классы крупности менее 0,044 мм частично представлены гидроксидами и раскрытыми зернами кварца. Массовая доля кремнезема по классам крупности в исходной руде изменяется от 11,9 до 6,8 %.

Одним из важных условий эффективного обогащения руды является предварительное раскрытие выделяемых из нее зерен кремнезема. Полнота раскрытия минеральных зерен важна при получении концентрата с минимальной массовой долей кремнезема. Поэтому раскрытие железосодержащих компонентов руды, осуществляемое в процессе рудоподготовки, сопровождается частичным или полным раскрытием рудных и нерудных зерен. Часть этих зерен переходит в тонкозернистую шламовую фракцию руды, селективность обогащения которой невысока и снижается по мере уменьшения крупности шламов. Но все же важное требование рудоподготовки заключается в уменьшении переизмельчения богатых железных руд перед обогащением.

С учетом особенностей вещественного состава руд и их физических свойств измельчения их перед обогащением проводим в шаровых и стержневых мельницах. Как видно из результатов исследований, наиболее благоприятные

## Загальні питання технології збагачення

умовия раскрытия рудных зерен обеспечиваются при стержневом измельчении. В табл. 2 приведены результаты гравитационного анализа проб окисленной железной руды при различных способах их рудоподготовки.

Таблица 2

Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Показатели дезинтеграции % класса – 0,5 мм											
	75			80			95			98		
	Выход, %	Массовая доля, %		Выход, %	Массовая доля, %		Выход, %	Массовая доля, %		Выход, %	Массовая доля, %	
		Fe <sub>общ.</sub>	SiO <sub>2</sub>		Fe <sub>общ.</sub>	SiO <sub>2</sub>		Fe <sub>общ.</sub>	SiO <sub>2</sub>		Fe <sub>общ.</sub>	SiO <sub>2</sub>
Шаровое измельчение												
Проба 1 – 4200	9,2	24,2	–	8,4	22,1	–	9,5	27,1	–	9,1	26,4	–
4200	83,6	69,6	0,18	82,9	69,5	0,17	80,9	69,6	0,17	79,5	69,6	0,17
шламы	7,2	64,0	–	8,7	64,1	–	9,6	64,3	–	11,4	64,2	–
исходная	100	65,05	3,7	100	65,0	3,7	100	65,05	3,7	100	65,05	3,7
Стержневое измельчение												
Проба 1 – 4200	9,1	22,4	–	9,8	25,4	–	10,1	27,2	–	11,0	30,4	–
4200	87,9	69,5	0,18	86,3	69,6	0,15	85,6	69,6	0,16	84,0	69,7	0,12
шламы	3,0	64,0	–	3,9	63,9	–	4,3	63,3	–	5,0	63,2	–
исходная	100	65,05	3,7	100	65,0	3,7	100	65,05	3,7	100	65,05	3,7
Шаровое измельчение												
Проба 2 – 4200	15,7	39,4	–	14,2	36,2	–	15,7	33,8	–	13,9	36,0	–
4200	79,2	69,5	0,18	79,6	69,6	0,17	77,3	69,6	0,18	78,4	69,6	0,17
шламы	5,1	64,1	–	6,2	63,8	–	7,0	63,9	–	7,7	64,0	–
исходная	100	64,5	4,4	100	64,5	4,4	100	64,5	4,4	100	64,5	4,4
Стержневое измельчение												
Проба 2 – 4200	13,8	34,2	–	14,8	36,2	–	14,9	36,9	–	15,9	33,2	–
4200	83,9	69,5	0,19	82,3	69,6	0,17	81,7	69,6	0,18	80,4	69,7	0,15
шламы	2,3	63,7	–	2,9	63,9	–	3,4	63,0	–	3,7	62,6	–
исходная	100	64,5	4,4	100	64,5	4,4	100	64,5	4,4	100	64,5	4,4

Результат измельчения полной мерой зависит от массовой доли продуктовых фракций, поступающих на последующее обогащение. Рудоподготовка богатой железной руды в стержневой мельнице наряду с раскрытием основной массы рудных зерен обеспечивает и незначительное образование шламов (от 2,3 до 5,0%). Вместе с тем измельчение аналогичных проб руды в шаровых мельницах образование шламов составляет от 5,1 до 11,4%.

Анализ технологических схем рудоподготовки, способов их решения и полученные результаты свидетельствуют, что подготовка руды к эффективному обогащению должна включать стержневое измельчение до 80% класса

## Загальні питання технології збагачення

крупности минус 0,5 мм.

Практика обогащения названных руд в отечественном и зарубежной производстве показала, что наиболее эффективным процессом обогащения, позволяющим извлекать из руды раскрытые зерна окислов железа размером 0,1 мм и менее, несомненно является магнитная сепарация.

Предложенная магнитная схема обогащения принципиально не отличается от известных схем по магнитной сепарации окислов железа, но в ней имеются свои особенности, которые сохраняют постоянство условий процесса и его высокую селективность. Схема высокоградиентной магнитной сепарации богатой окисленной железной руды подземной добычи Кривбасса включала основную и перечистную операции.

Плотность продукта измельчения принята 30–35% твердого. Как показали испытания, распределение класса минус 0,01 мм между концентратом и немагнитной частью сепарации примерно одинаково.

По результатам оптимальной технологии рудоподготовки проб окисленной железной руды проведено обогащение на сепараторе 259 СЭ. Основные показатели химического состава высококачественного концентрата приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ пробы	Компоненты, %													
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg	Pb	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Cu	Zn	Na	K	Ca	Fe <sup>+2</sup>
1	99,3	<0,01	<0,01	<0,15	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	0,3
2	98,8	<0,01	<0,01	<0,17	<0,02	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	0,46

Из полученных высококачественных железорудных концентратов были изготовлены образцы анизотропных ферритов марок 25 СА 250 и 30 СА 270. Ферритизация этих образцов проведена при температуре 1300 °С в газовой печи научно-производственной фирмы "Феррокерам".

Значения основных магнитных параметров проб ферритов и требования к ним – в табл. 4.

Таблица 4

Марка феррита	Остаточная индукция В <sub>ч</sub> , Тл	Коэрцитивная сила, кА/м		Произведение (В*Н), кДж/м <sup>3</sup>
		по индукции Н <sub>св</sub>	по намагничению Н <sub>см</sub>	
<u>Требования</u>				
25 СА 250	0,39	240	250	28,0
30 СА 270	0,4	260	270	30,0
<u>Проба 1</u>				

## Загальні питання технології збагачення

Проба 2	0,388	261	259	29,5
	0,368	232	258	26,9
	0,408	256	269	32,0
	0,374	242	269	25,8

Таким образом, высококачественный концентрат из богатых окисленных железных руд подземной добычи Кривбасса может быть успешно использован для изготовления ферритов. Это позволит значительно повысить рентабельность действующих шахт, обеспечить потребность специальных отраслей Украины высококачественным сырьем.

### Список литературы

1. Технологическая минералогия железных руд / Б.И. Пирогов, Г.С. Поротов, И.В. Холошин, В.Н. Тарасенко. – Л.: Наука, 1988. – 304с.
2. Зеленов П.И. Разработка и промышленные освоения технологии производства магнетитовых концентратов высокой частоты для порошковой металлургии // Новые способы сепарации руд в магнитных полях. – Апатиты, 1981. – С. 25–34.

*Надійшла до редколегії  
Рекомендовано до публікації*

УДК 622.7

**А.И. СМИРНОВ**, канд. техн. наук,  
**А.И. САМОЙЛОВ**, канд. техн. наук,  
**А.Н. КОРЧЕВСКИЙ**,  
**Ю А. ПРОТАСОВ**

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОГАТИМОСТИ УГЛЕЙ ШАХТЫ "КРАСНОАРМЕЙСКАЯ-ЗАПАДНАЯ №1"

У зв'язку із зміною властивостей вугілля, яке видобувають на шахти "Червоноармійська-Західна №1", досліджено основні властивості матеріалу як об'єкта гравітаційного та флотаційного збагачення, проведений ситовий та фракційний аналіз.

**Ключові слова:** баланс, регламент, сірка, зольність, вихід, гравітація, флотація.

В связи с изменением свойств углей, добываемых на шахте "Красноармейская-Западная №1", исследованы основные свойства материала как объекта гравитационного и флотационного обогащения, проведен ситовый и фракционный анализ.

**Ключевые слова:** баланс, регламент, сера, зольность, выход, гравитация, флотація.