

ния расплава меди свидетельствует о его высокой эффективности и технологической простоте. Дальнейшее усовершенствование способа и разработка других способов, возможно, позволит отказаться от энергозатратной операции электролитического рафинирования меди в водных растворах.

Список литературы

1. Кожанов В.А. Перспективы развития металлургии вторичных цветных металлов Украины / В.А. Кожанов, В.М. Чернобаев, В.А. Попов // Рынок вторичных металлов. – 2006. – №4/36. – С. 35-39.
2. Кожанов В.А. Состояние и совершенствование сырьевой базы для производства отливок из меди и ее сплавов/ В.А. Кожанов // Литье Украины. – 2006. – №1. – с. 6-13.
3. Уткин Н.И. Производство цветных металлов/ Н.И. Уткин // «Интернет Инжиниринг». М.: 2000. – 442 с.
4. Савенков Ю.Д. Исследование возможности глубокого огневого рафинирования лома и отходов меди / Ю.Д. Савенков, В.А. Шпаковский, В.А. Кожанов // Металл и литье Украины. – 2007. – №3. – С. 45-47.
5. Шпаковский В.А. Интенсификация процесса огневого рафинирования расплава меди / В.А. Шпаковский, В.Я. Иванченко, И.О. Ошеров, В.А. Кожанов // Металлы. – 2007. – №3. – С. 54-55.
6. Кожанов В.А. Термодинамические предпосылки прецизионного огневого рафинирования меди из лома и отходов/ В.А. Кожанов, Ю.Д. Савенков, В.А. Шпаковский// Металл и литье Украины. – 2007. – №8. – С. 34-37.
7. Пат. 118420 Украина, С22В5/00. Способ генерации восстановительных газов. / В.П. Кравченко [и др.]. Опубл. 10.08.2017. Бюл. №15.

© Кравченко В.П., Таранина Е.В., Ганкевич В.Ф., 2018

*Надійшла до редколегії 25.07.2018.
Рекомендовано до публікації д.т.н В.П. Надутим*

УДК 622.7

А.С. КИРНАРСКИЙ, д-р техн. наук
(Германия, фирма «Инжиниринг Доберсек ГмбХ»)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ КАРБОНАТНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ

Основной целью инжинирингового проекта является разработка рентабельной технологии обогащения карбонатной железной руды одного из среднеазиатских месторождений для получения железорудного концентрата для цементной промышленности с содержанием триоксида железа Fe_2O_3 не менее 62%.

Анализ геологии месторождения показал, что в рудной толще есть балансовые и забалансовые руды. К первой категории минерального сырья относится

карбонатная руда, которая включает рудные минералы типа гидрогетита, гетита и сидерита (рис. 1). Плотность этой руды 4 т/м^3 . По прочности ее следует отнести к мягким породам, для которых коэффициент крепости по шкале М.М. Протоdjяконова составляет 6-10. Она легко шламуется, при этом шлам размокая в воде, оставляет пленки на поверхности рудных частиц. При помещении такой рудной смеси в магнитное поле с магнитной индукцией 0,8 Тл она проявляет слабомагнитные свойства и переходит в магнитный продукт.

Забалансовая оксидная руда (рис. 2) представлена гематитом, ильменитом, кремнеземом, имеет плотность $2,6 \text{ т/м}^3$. По прочности следует отнести к породам средней твердости, для которых коэффициент крепости по шкале М.М.Протоdjяконова составляет 11-15. Руда не шламуется. При помещении этого рудного продукта в магнитное поле с магнитной индукцией 0,8 Тл он проявляет немагнитные свойства и переходит в немагнитную фракцию.



Рис. 1. Дробленая карбонатная руда



Рис. 2. Дробленая оксидная руда

Опытное обогащение проводили на смеси карбонатной и окисной руды. Крупность дробленого продукта – 10 мм (рис.1,2), а измельченного продукта – 2 мм (рис. 3).

Перед измельчением карбонатная и оксидная руда перемешивалась в соотношении 1 : 3, при этом полученная рудная шихта подвергалась измельчению до крупности – 2 мм. Рудная шихта после измельчения представлена на рис. 3.



Рис. 3. Рудная шихта после измельчения – 2 мм

Загальні питання технологій збагачення

Обесшламливание осуществляли по граничной крупности 0,04 мм. Выход шламов – 17%. Содержание Fe_2O_3 в шламе – 26,8%. Шламная часть руды представлена на рис. 4. В отмытой руде содержание Fe_2O_3 составило 58%.

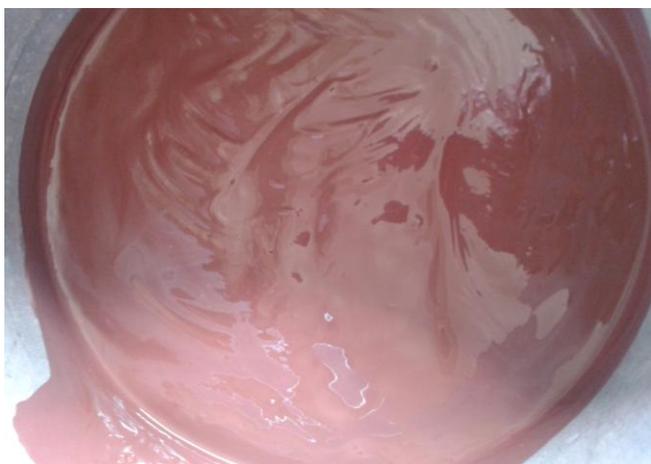


Рис. 4. Шламная фракция исследуемой железной руды – 0,04 мм

Химический состав рудной шихты, поступающей на гравитационное обогащение, представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исходной железной руды								
Химические соединения	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MgO	MnO	P_2O_5	SO_3	ППП
Содержание, %	58,75	12,33	17,86	0,151	0,151	0,137	0,083	9,92

Обогащение на концентрационном столе классов 0,04-1 и 1-2 мм показало технологическую предпочтительность первой фракции. Результаты гравитационного обогащения руды крупностью 0,04-1,0 мм сведены в таблицу 1. Гравитационное обогащение проводили на концентрационном столе СКЛ2, технические характеристики которого приведены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики концентрационного стола СКЛ2	
Технические характеристики	Численное значение
Производительность, кг/ч	15
Размеры деки, мм	600×260
Частота колебаний деки, цикл/мин.	150...500
Амплитуда колебаний деки, мм	2...12
Наклон деки относительно горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению колебаний, градусы	0...10
Мощность электропривода, Вт	350
Масса, кг	85

Результаты концентрации железной руды на столе СКЛ2 сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты гравитационного обогащения руды на концентрационном столе				
Продукты обогащения	Выход, %	Содержание, %		Извлечение железа, %
		Fe ₂ O ₃	железа	
Концентрат	45,3	77,8	54,46	59,28
Промпродукт	27,7	56,5	39,55	26,32
Хвосты	27,0	31,7	22,19	14,40
Исходный продукт	100,0	59,45	41,62	100,00

Из таблицы 3 следует, что для получения концентрата с содержанием Fe₂O₃ не менее 62 % (рис. 5) достаточно провести разделение по плотности в один прием, так как выделение концентрата и промпродукта после первой стадии гравитационного обогащения позволяет получить товарный продукт с содержанием Fe₂O₃ на уровне 69,72 % при его выходе от операции 73%. Хвосты гравитационного обогащения представлены на рис.6. Химический состав продуктов гравитационного обогащения представлен в таблице 4.

Таблица 4

Химический состав продуктов гравитационного обогащения								
Продукты	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	MnO	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП
Концентрат	77,80	4,89	6,60	0,175	1,032	0,17	0,10	9,233
Хвосты	31,70	22,90	33,85	0,117	0,117	0,09	0,06	10,90
Питание	58,75	12,33	17,86	0,151	0,151	0,137	0,083	9,92



Рис. 5. Железорудный концентрат



Рис. 5. Хвосты обогащения

Если качество исходной руды снизится, то целесообразно гравитационный концентрат подвергнуть перечистке при помощи высокоинтенсивной магнитной сепарации (ВИМС). В лабораторных условиях на роликовом магнитном сепараторе при индукции на поверхности барабана 0,8 Тл из гравитационного концентрата получили практически свободный от частиц нерудного минерала

Загальні питання технологій збагачення

магнитный продукт. Результаты обогащения гравитационного концентрата в магнитном поле с магнитной индукцией 0,8 Тл представлены в таблице 5.

Таблица 5

Продукты обогащения	Выход, %	Содержание, %		Извлечение железа, %
		Fe ₂ O ₃	железа	
Концентрат	93,3	79,8	55,86	99,18
Хвосты	6,7	9,2	6,44	0,82
Исходный продукт	100,0	75,07	52,55	100,00

Высокоинтенсивная магнитная сепарация крупнозернистой фракции 1-2 мм на роликовом ВИМС с постоянными магнитами показала следующие результаты (табл. 6).

Таблица 6

Продукты обогащения	Выход, %	Содержание, %		Извлечение железа, %
		Fe ₂ O ₃	железа	
Концентрат	54,0	81,3	56,91	92,98
Хвосты	46,0	7,2	5,04	7,02
Исходный продукт	100,0	47,20	33,05	100,00

Данные таблицы 3 свидетельствуют о технологической возможности обогащения крупнозернистой фракции в отдельном цикле, что необходимо учитывать при разработке схемного решения по переработке карбонатной руды. Для данного типа руды достигнутое качество концентрата близко к содержанию железа в чистом минерале, которое составляет на уровне 60%.

Таким образом, гравитационно – магнитное обогащение позволяет получить железный концентрат для цементной промышленности, но дальнейшее повышение качества концентрата требует изменений вещественного состава исходной руды, для чего концентрат ВИМС подвергли обжигу в течение 1 часа в муфельной печи при температуре 500 °С. В процессе обжига преследовали цель удаления гидратной влаги, поэтому использовали окислительную, а не восстановительную среду, т.е. уголь не применяли. В результате обжига потери при прокаливании составили 4,4%, при этом содержание триоксида железа Fe₂O₃ возросло до 89,5%, что в пересчете на чистое железо составляет 62,25%. Это и есть технологический предел для данного типа руды.

На основании проведенных лабораторных исследований по обогатимости карбонатной руды разработана технология ее обогащения, принципиальная схема которой представлена на рис. 8.

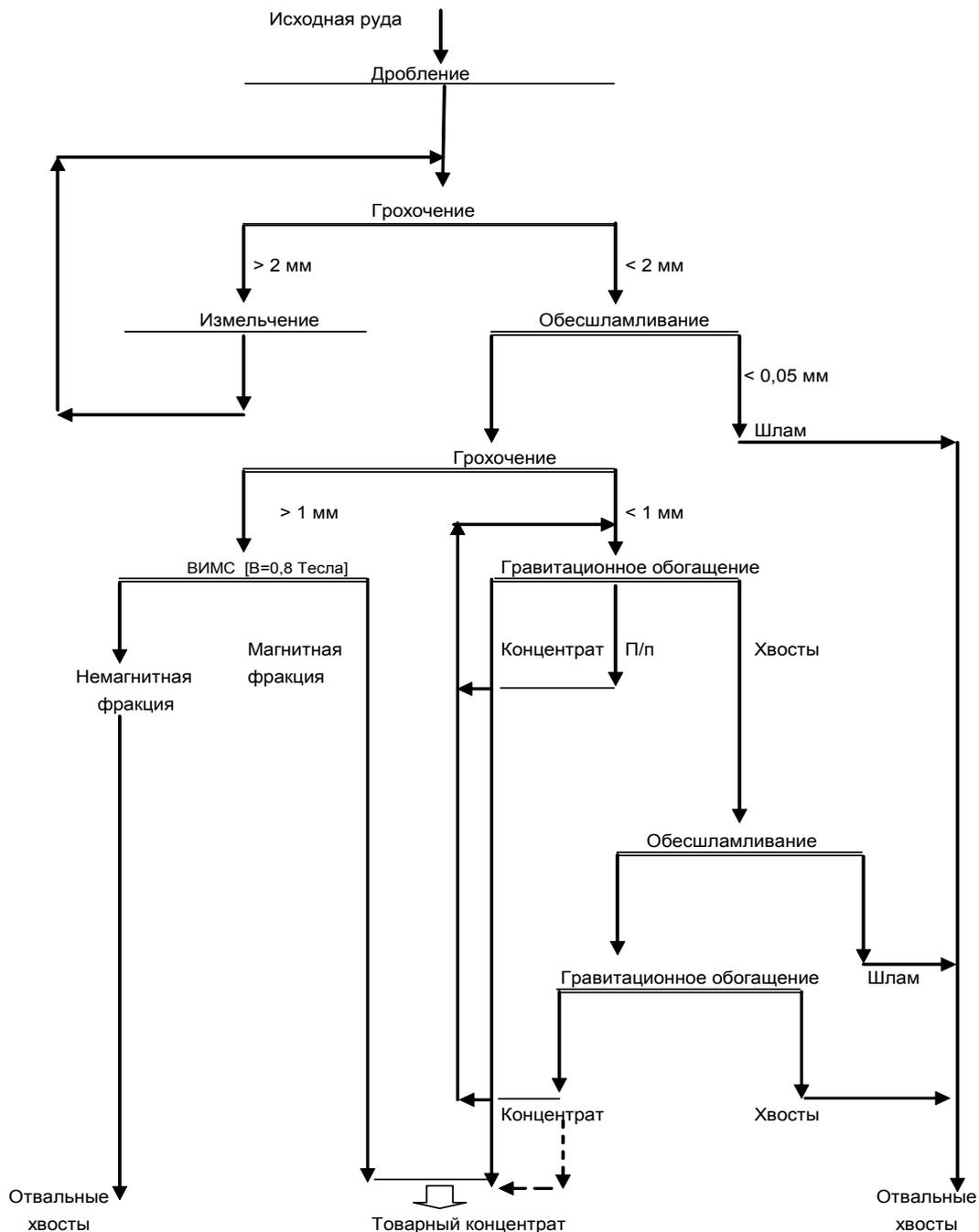


Рис. 8. Принципиальная схема обогащения карбонатной железной руды

Выводы

1. По своему вещественному составу исследуемая железная руда включает балансовую и забалансовую руды.
2. Балансовая карбонатная руда представлена минералами типа гидрогетита, гетита, сидерита. Плотность этой руды – 4 т/м^3 . По прочности руда мягкая, легко шламуется. В магнитных полях с магнитной индукцией $0,8 \text{ Тл}$ проявляет магнитные свойства.
3. Забалансовая рудная часть представлена минералами типа гематита,

Загальні питання технологій збагачення

ильменита, кремнезема. Плотность этой руды – 2,6 т/м³. По прочности руда средней крепости, не шламуется. В магнитных полях с магнитной индукцией 0,8 Тл не проявляет магнитные свойства.

4. Гравитационное обогащение измельченной и обесшламленной руды позволяет получить железорудный концентрат с содержанием триоксида железа Fe₂O₃ более 62,0%, что удовлетворяет требованиям для товарных продуктов, отгружаемых на цементные заводы.

5. Обогащение гравитационного концентрата в высокоинтенсивном магнитном поле с магнитной индукцией 0,8 Тл позволяет повысить качество железорудного концентрата по содержанию триоксида железа Fe₂O₃ до 80%.

6. Величина магнитной индукции в условиях ВИМС на уровне 0,8 Тл является оптимальным, при меньшем значении этого параметра снижается извлечение железа, при его повышении снижается качество концентрата.

7. Дальнейшее повышение качества концентрата достигается за счет обжига магнитного продукта ВИМС в окислительной среде при температуре 500 °С в течение 1 часа. Содержание триоксида железа Fe₂O₃ после обжига составило 89,5%.

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность специалистам – обогатителям А. Иванченко, Д. Матийчук и Д. Анищенко за практическое участие и ценные советы при выполнении настоящей работы.

© Кирнарский А.С., 2018

*Надійшла до редколегії 28.08.2018 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.778.4

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук,

А.А. БЕРЕЗНЯК, канд. техн. наук, **Е.А. БЕРЕЗНЯК**,

Я.Г. КУВАЕВ, канд. техн. наук,

(Украина, Днепр, Государственное ВНЗ Национальный технический университет «Днепровская политехника»)

ЭФФЕКТЫ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ПЕРЕД РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ

Частицы магнетита обладают остаточной намагниченностью, поэтому образуют флоккулы при воздействии магнитного поля во время магнитной сепарации. Немагнитные частицы пустой породы заземляются внутри флоккулы и удерживаются в ней за счет сил трения, снижая качество концентрата. При движении флоккулы относительно среды могут быть удалены только те немаг-