

УДК 622.341.17

Повышение эффективности разделения техногенных отходов железных руд

В.Ф. Скороходов, М.С. Хохуля

Горный институт КНЦ РАН

Аннотация. Приводятся результаты изучения вещественного состава техногенных железосодержащих отходов ОАО "Олкон", на основании которых разработана магнитно-гравитационная схема их переработки. Показано, что с уменьшением крупности материала увеличивается содержание магнетита и гематита, и что в сростках с рудными минералами в крупных фракциях содержится большое количество кварца. Для раскрытия сростков обосновано введение предварительной рудоподготовки для исходного материала, включающей использование стержневой мельницы. Установлена принципиальная возможность получения из отходов кондиционного железного концентрата с извлечением на уровне 63,3 %, а также некоторого количества кварцевого продукта с содержанием в нем более 85 % SiO₂.

Abstract. Results of researches of material composition of technogenic ferrous waste of JSC Olkon, which help to develop the magnetic-gravitational circuit of their conversion have been given. It has been shown that with decrease of material coarseness the magnetite and hematite maintenance increases and that in joints with ore minerals in large fractions the quartz is in considerable quantity. For disclosing of joints introduction of preliminary ore beneficiation has been substantiated including use of a rod mill. Basic possibility of receiving saleable iron-ore concentrate with recovery being equal to 63,3 %, and also some quantity of quartziferous product containing over 85 % SiO₂ has been proved.

Ключевые слова: техногенные отходы железных руд, магнетит, гематит, кварц, сростки, измельчение, магнитно-гравитационная схема, содержание, извлечение

Key words: iron-ore waste separation, magnetite, hematite, quartz, joints, pounding, magnitno-gravitational circuit, content, extraction

1. Введение

Горнодобывающая промышленность России является главным источником образования промышленных твердых отходов в стране. По мнению различных авторов, в России ежегодно образуется в среднем около 3,6 млрд т отходов добычи и обогащения. Наибольшее количество твердых отходов образуется при добыче и обогащении металлических руд, твердых горючих ископаемых, а также при добыче естественных строительных материалов.

В связи с этим особую актуальность приобретает проблема накопления больших объемов отвальных железосодержащих продуктов в виде техногенных отходов, доля переработки которых в горнодобывающей промышленности незначительна. Причины низкого вовлечения вторичного сырья в повторную переработку детально проанализированы в работах (Макаров, 1996; 1998). Идее переработки железорудных хвостов с получением из них ценных продуктов уделяется значительное внимание.

Вместе с тем, вопросы дополнительного извлечения железа из таких отходов не нашли своего практического воплощения, хотя они могли бы стать потенциальным источником получения как железного концентрата, так и кварцевого продукта без использования процессов дробления и других подготовительных операций, поскольку этот материал уже прошел энергоемкий процесс измельчения.

Содержание железа в рудах различных месторождений России колеблется от 14 % до 60 %, в концентрате – от 48 % до 69 %. Пустая порода большинства железных руд состоит в основном из SiO₂, в меньших количествах присутствуют Al₂O₃, CaO, MgO. Часто в железных рудах есть в небольших концентрациях примеси: полезные: Mn, V, Cr, Ni и др.; вредные: S, P, As, Zn.

В частности, в результате переработки ОАО "Олкон" железных руд около 60 % материала от исходного продукта идет в хвостохранилище, где уже сосредоточено около 380 млн т складированных техногенных кварцевых отходов.

В настоящее время некоторое небольшое количество рассматриваемых отходов используется частично в промышленности строительных материалов при производстве силикатного кирпича практически без его обогащения (Брянцева и др., 1982). Нарращивание объемов утилизации отходов может быть осуществлено также для получения тяжелых бетонов, строительных растворов, дорожных материалов (тротуарная плитка, поребрик), изделий из ячеистого бетона (Брянцева и др., 1979; Пак и др., 1989; Крашенинников и др., 1997). Однако высокое содержание в них железа мешает дальнейшему вовлечению в промышленное производство и отрицательно сказывается на качестве выпускаемой продукции.

2. Методы и результаты исследований

Технология, основанная на использовании мокрой магнитной сепарации, позволяет успешно извлекать минералы, обладающие повышенными магнитными свойствами, но неприменима к целой гамме слабомагнитных минералов (гематит, кварц, полевые шпаты и др.), входящих в состав железных руд. По этой причине наблюдаются значительные потери металла с хвостами обогащения. Большая часть этих потерь связана с пустой породой: кварцем, пироксенами, полевым шпатом, гранатом и биотитом, а также магнетитом и гематитом.

Характеристика по крупности и минеральному составу полученной пробы кварцевых отходов ОАО "Олкон" представлена в табл. 1.

Таблица 1. Гранулометрическая и минералогическая характеристика пробы кварцевых отходов

Классы, мм	Выход класса, %	Содержание минералов, %							
		Магнетит	Гематит	Кварц		Пироксены	Полевой шпат	Биотит	Прочие
				свобод.	в сростках				
+1	4,4	13,1	1,7	23,5	35,1	14,2	10,7	1,4	0,3
-1+0,63	7,2	13,4	0,1	22,0	43,5	10,7	8,3	1,6	0,4
-0,63+0,5	6,0	12,3	4,1	18,0	44,3	10,8	8,4	1,7	0,4
-0,5+0,315	17,2	15,2	4,9	23,5	34,7	10,8	8,5	1,8	0,6
-0,315+0,2	28,4	14,1	10,5	24,3	27,1	12,6	9,1	1,6	0,7
-0,2+0,1	25,7	16,3	16,2	27,4	19,4	10,2	8,8	1,3	0,4
-0,1+0,063	6,8	17,4	22,2	26,6	13,4	10,7	8,7	1,7	0,3
-0,063+0,05	2,0	17,8	19,8	35,6	10,0	9,3	6,2	1,0	0,3
-0,05	2,3	17,5	10,4	40,1	8,1	11,4	9,8	1,8	0,9
Итого:	100,0	15,0	10,5	25,1	27,3	11,3	8,8	1,6	0,4

Среднее содержание основных рудных минералов – магнетита и гематита – в пробе составляет соответственно 15 и 10,5 %. Магнетит с размерами зерен 0,16-0,6 мм преимущественно встречается как в виде самостоятельных выделений, так и в качестве мелкозернистых включений.

Изучением аншлифов гематита установлено нахождение его в виде отдельных зерен и зернистых агрегатов, которые вкраплены в породу вместе с магнетитом или отдельно от него. Форма зерен гематита определяется формой тех промежутков, которые остаются между зернами магнетита.

Четко прослеживается закономерность увеличения содержания рудных минералов с уменьшением крупности фракций, а также преобладающее количество в рудной составляющей свободных зерен магнетита и кварца. По этой причине, а также в связи с небольшим выходом материала крупностью менее 100 мкм (не более 11 %), существуют предпосылки использования для переработки отходов гравитационных методов обогащения.

Нерудная часть хвостов состоит в основном из прозрачных зерен кварца. Его суммарное содержание вместе со сростками составляет более 50 %.

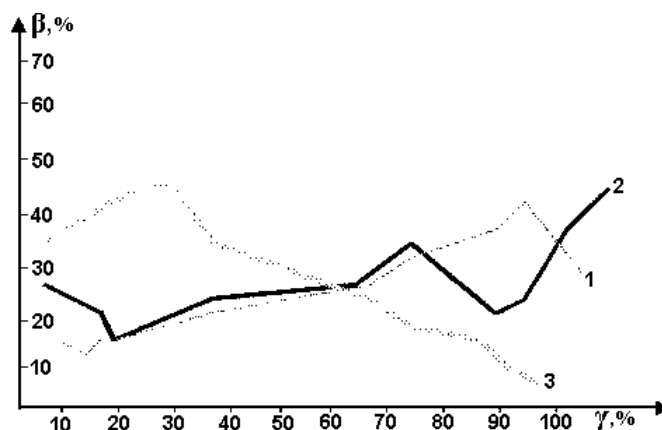
Силикаты представлены амфиболами и пироксенами, содержание которых не превышает 12 %. Среди амфиболов определены куммингтонит, актинолит, обыкновенная роговая обманка и щелочные амфиболы. Пироксены обозначены рядом диопсид-гедербергита. Присутствует в пробе около 9 % полевых шпатов, 1,6 % слюды-биотита. Среди прочих минералов следует отметить гранат и эпидот (до 0,4 %).

Химический состав железорудных хвостов близок по составу для керамических материалов, используемых в строительстве, в производстве стекла и керамической плитки. Также рассматриваемые отходы могут служить строительным материалом для дорожных покрытий и заменителей песка, к химическому составу которых не предъявляются строгие требования, кроме твердости и гранулометрического состава.

По химическому составу отходы содержат следующие оксиды (мас. %): SiO₂ – 57,9, Fe₂O₃ – 19,2, FeO – 6,4, Al₂O₃ – 3,8, CaO – 3,6, MgO – 2,8, R₂O – 6,3.

На рисунке приведен график изменения содержания рудных минералов, чистого кварца и кварца в сростках в зависимости от выхода фракций. Увеличение содержания магнетита и гематита в отвалах наблюдается с уменьшением крупности материала вплоть до крупности 0,063 мм (кривая 1). Более резкий характер изменения в содержании наблюдается для свободного кварца (кривая 2), когда наибольшее его содержание приходится на три последние фракции. Отличительной особенностью кривой 3 является существенно большее содержание кварца, находящегося в сростках с рудными минералами. Особенно много сростков приходится на долю крупных фракций, выход которых составляет почти 60 % (до фракции +0,2 мм), где содержание сростков превышает в совокупности содержание рудных минералов и чистого кварца.

Рис. Диаграмма изменения содержания рудных минералов (1), чистого кварца (2) и кварца в сростках (3) в зависимости от выхода фракций



Полученные зависимости свидетельствуют о необходимости введения предварительной рудоподготовки исходного материала для обеспечения раскрытия сростков в его крупных классах.

Основной целью работы было получение из техногенных отходов железосодержащего концентрата, отвечающего требованиям металлургического передела, а также богатого кварцевого продукта с содержанием SiO_2 не менее 90 %, качество которого может быть повышено его дальнейшей химической обработкой.

Наличие в пробе железосодержащих продуктов с сильной и слабой магнитной восприимчивостью, а также различие в значениях плотности рудных и породных минералов предопределило выбор комбинированной технологии обогащения с использованием магнитной сепарации и гравитации и введением в начальной стадии технологической схемы операции измельчения.

На основании проведенного минералогического и фазового анализов можно отметить, что пороговый класс раскрытия сростковых фракций основных полезных компонентов находится в диапазоне 0,315-0,16 мм. Выполненные в лабораторных условиях опыты по оптимизации операции измельчения в различных режимах показали, что использование в первой стадии шарового измельчения приводит к резкому увеличению выхода фракции -0,074 мм с присутствием в ней и большой доли шламистых частиц. Так, изменение времени измельчения с 5 до 30 минут при постоянной шаровой загрузке и Т:Ж в питании мельницы дало прирост выхода этого класса с 13,1 до 47,9 %. Использование же стержневой загрузки мельниц позволило стабилизировать выход фракции -0,074 мм на уровне 15 % при выходе эффективно разделяемых классов в пределах 75-78 %.

Применение в первой стадии рудоподготовки стержневой мельницы обеспечило получение требуемого для дальнейшего передела обогащения гранулометрического состава исходного продукта и позволило рекомендовать в голове процесса методы, использующие гравитационный принцип разделения.

Для осуществления данного принципа предварительная концентрация железосодержащих минералов с плотностью около 5 г/см^3 и выше осуществлялась на концентрационном столе, который также обеспечил выведение из процесса обогащения отвальных железа хвостов. Анализ продуктов первичного гравитационного обогащения показал, что содержание $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в тяжелой фракции стола составляет 52-54 %, промпродукте – около 26 % и хвостах стола – 5-7 %.

Промпродукт стола по содержанию железа был сопоставим с исходным питанием, и его дальнейшее вовлечение в переработку может стать дополнительным источником получения железосодержащих концентратов.

Последующая доводка тяжелой фракции магнитной сепарацией позволяет получить кондиционный магнетитовый концентрат при извлечении от 19 до 26 %, а гравитационное обогащение немагнитной фракции – гематитовый продукт с содержанием до 66 % $\text{Fe}_{\text{общ}}$.

Введение электромагнитной сепарации при повышенной напряженности поля повысило содержание SiO_2 в хвостах стола, снизив до 3,3 % содержание $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в немагнитной фракции и повысив до 84-88 % содержание в них SiO_2 (хвосты 4). Получение концентратов с более высоким содержанием SiO_2 становится затруднительным из-за тонкого прорастания кварца рудными включениями.

В табл. 2 представлены сводные показатели магнитно-гравитационного разделения техногенных кварцевых отходов.

Проведенная химическая обработка черного кварцевого продукта обеспечила повышение содержания SiO_2 до 94 %, и дальнейшее увеличение качества концентрата возможно только при использовании более тонкого его помола для полного вскрытия сростковых фаз.

Разработанная технология позволяет выделить из рассматриваемых техногенных отходов железный концентрат с содержанием $\text{Fe}_{\text{общ}}$ выше 65 % при извлечении более 63 %. В случае реализации

Таблица 2. Сводные показатели переработки техногенных отходов гравитационно-магнитного обогащения железных руд

Наименование продуктов	Выход, %		Содержание Fe _{общ.} , %	Извлечение Fe _{общ.} , %	
	от операции	от руды		от операции	от руды
Измельчение I					
Разгрузка	100,0	100,0	18,39	100,0	100,0
Классификация (74 мкм)					
Пески	85,2	85,2	19,12	88,6	88,6
Слив	14,8	14,8	14,16	11,4	11,4
Разгрузка I	100,0	100,0	18,39	100,0	100,0
Гравитация I					
Черновой к-т	16,9	14,4	52,84	46,7	41,4
Промпродукт	22,6	19,3	26,01	30,8	27,3
Хвосты 1	60,5	51,5	7,10	22,5	19,9
Пески	100,0	85,2	19,12	100,0	88,6
Магнитная сепарация I					
Концентрат 1	35,4	5,1	68,72	46,1	19,1
Немагнитная	64,6	9,3	44,10	53,9	22,3
Черновой к-т	100,0	14,4	52,84	100,0	41,4
Гравитация II					
Концентрат 2	48,4	4,5	63,86	70,0	15,6
Хвосты 2	51,6	4,8	25,60	30,0	6,7
Немагнитная	100,0	9,3	22,30	100,0	22,3
Измельчение II (промпродукт+хвосты 2)					
Разгрузка II	100,0	24,1	25,93	100,0	34,0
Гравитация III					
Концентрат 3	20,3	4,9	65,80	51,5	17,5
Хвосты 3	79,7	19,2	15,80	48,5	16,5
Разгрузка II	100,0	24,1	25,93	100,0	34,0
Магнитная сепарация II					
Концентрат 4	6,2	3,2	63,90	55,8	11,1
Хвосты 4	93,8	48,3	3,35	44,2	8,8
Хвосты 1	100,0	51,5	7,10	100,0	19,9
Общий концентрат	17,7	65,76	63,3		

данной технологии при годовой производительности предприятия по исходному сырью в 10 млн т возможно получение около 4,4 млн т железного концентрата и некоторой части кварцевого продукта.

Поэтому предлагаемые решения направлены на повышение комплексности переработки отходов, что обеспечит снижение потерь железа и двуокиси кремния с отвальными продуктами и получение кондиционных железных концентратов и качественных кварцевых продуктов для дальнейшего их использования в традиционных и новых областях промышленности.

3. Заключение

На основании выполненных исследований изучен вещественный состав кварцевых техногенных отходов ОАО "Олкон", который показал наличие в крупных фракциях пробы значительного количества сростков. Установлен характер содержания рудных минералов, чистого кварца и кварца в сростках в зависимости от выхода фракций.

Для раскрытия сростков обоснована необходимость введения предварительной рудоподготовки материала, которая осуществлялась в стержневой мельнице. Показано, что наилучшие результаты раскрытия сростковых фракций основных полезных компонентов отходов при различных режимах измельчения достигаются при выходе класса -0,074 мм на уровне 15 % при выходе эффективно разделяемых фракций около 75-78 %.

Наличие в пробе отходов различий в значениях плотности рудных и породообразующих минералов, а также присутствие в ней железосодержащих продуктов с сильной и слабой магнитной восприимчивостью позволило рекомендовать комбинированную магнитно-гравитационную технологию, которая обеспечила получение кондиционного железного концентрата с выделением в него как магнитной составляющей в виде магнетита, так и немагнитного продукта, состоящего из гематита.

Разработана технологическая схема переработки кварцевых техногенных отходов, показывающая принципиальную возможность получения железного концентрата и некоторого количества кварцевого продукта, которые могут быть использованы как в традиционных, так и новых областях промышленности.

Литература

- Брянцева Н.Ф., Глухова Р.Н., Адейшвили Л.О.** Автоклавный силикатный материал из отходов горнодобывающей промышленности. В кн.: *Силикатные материалы из минерального сырья и отходов промышленности*. Л., Наука, с.3-10, 1982.
- Брянцева Н.Ф., Ушакова И.Н., Глухова Р.Н., Голденкова Л.С., Краснова Г.Г., Старченко Р.Н.** Свойства песчаных бетонов на основе отходов Оленегорского горнообогатительного комбината. В кн.: *Строительные и технические материалы из минерального и технического сырья Кольского полуострова*. Л., Наука, с.4-15, 1979.
- Крашенинников О.Н., Пак А.А., Сухорукова Р.Н.** Комплексное использование отходов обогащения железорудного сырья. *Строительные материалы*, № 12, с.28-30, 1997.
- Макаров В.Н.** Горнопромышленные отходы и вопросы их утилизации В кн.: *Химия и технология переработки комплексного сырья. Апатиты, КНЦ РАН*, с.22-26, 1996.
- Макаров В.Н.** Экологические проблемы утилизации горнопромышленных отходов. *Апатиты, КНЦ РАН*, Ч.1, 132 с., Ч.2, 146 с., 1998.
- Пак А.А., Сухорукова Р.Н., Краснова Г.Г.** Газосиликатобетон на основе техногенного сырья Мурманской области. В сб.: *Комплексное использование минерального сырья в строительных и технических материалах. Апатиты, КФАН СССР*, с.31-36, 1989.