

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

В течение 2000—2010 гг., с учетом возросших требований металлургических предприятий к качеству железорудного сырья, были проведены исследования с целью изучения возможности повышения массовой доли железа в концентратах горнообогатительных комбинатов Кривбасса до 68 % и более. В настоящее время тенденция повышения качества магнетитовых концентратов — одна из ведущих в связи с ростом конкуренции продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Основные способы повышения качества магнетитовых концентратов следующие:

- тонкое измельчение в сочетании с дешлампацией и мокрой магнитной сепарацией;
- тонкое грохочение с доизмельчением и дообогащением надрешетного продукта;
- тонкое измельчение, классификация и флотация.

В Криворожском бассейне железорудный концентрат производят пять горнообогатительных комбинатов: Северный, Центральный, Южный, Ингулецкий и горнообогатительный комплекс комбината “АрселорМиттал Кривой Рог”. Исходное сырье — бедные магнетитовые кварциты. Технологии, внедренные на обогатительных фабриках комбинатов, позволяют получать концентрат с массовой долей железа от 64 до 66 %.

Автором изучалась возможность повышения массовой доли железа в концентрате горнообогатительного комплекса “АрселорМиттал Кривой Рог” до 68,0 %. Условием проведения исследований был отказ от технологий, которые могут повлечь негативные экологические последствия.

Горнообогатительный комплекс комбината “АрселорМиттал Кривой Рог” производит магнетитовый концентрат — продукт переработки магнетитовых кварцитов Валявкинского и Новокриворожского месторождений, разрабатываемых карьерами 2-бис и 3. Исходная руда подвергается обогащению на двух рудообогатительных фабриках (РОФ-1 и РОФ-2) комбината. Технологическая схема включает трехстадиальное дробление руды до крупности 25—0 мм, трехстадиальное измельчение в шаровых мельницах до конечной крупности 95—98 % класса –0,074 мм, операции классификации, трехстадиальное магнитное обогащение с выделением концентрата в последнем приеме сепарации. Общее содержание железа в

концентрате колеблется от 64,8 до 66,0 при плановом значении 65,3 %. Выход концентрата составляет 38—39 %; общее извлечение железа в концентрат — 73—76 %; извлечение железа, входящего в состав магнетита, — 95—96 %. Общая массовая доля железа в отходах обогащения 14—15 %, массовая доля железа, входящего в состав магнетита, — 1—2 %.

В процессе исследований изучался материал проб, отобранный в течение нескольких месяцев:

- из забоев карьера;
- бункеров дробленой руды РОФ-1 и РОФ-2 — железорудное сырье, поступающее на обогатительные фабрики;
- сливов классификатора продуктов измельчения;
- промпродуктов стадий обогащения;
- конечного концентрата, отобранного со складов готовой продукции.

Изучение гранулометрического состава продуктов дробления показало, что содержание гранулометрических фракций в них заметно меняется — для отдельных фракций в несколько десятков раз. По данным минералогических исследований, причина этого — в больших колебаниях содержания в дробленном материале частиц руды разного минерального состава и частиц примесных пород — различных сланцев и безрудных кварцитов. Наличие нерудных частиц наиболее влияет на вариативность гранулометрических показателей продуктов дробления руды.

Контроль химического состава продуктов дробления руды выявил значительные колебания массовой доли железа в подаваемом на обогатительные фабрики рудном материале, %: для РОФ-1 — $Fe_{\text{общ}}$ от 30,8 до 37,1; $Fe_{\text{магн}}$ от 21,0 до 29,7; для РОФ-2 — $Fe_{\text{общ}}$ от 30,5 до 36,2; $Fe_{\text{магн}}$ от 22,2 до 28,2.

На основании анализа результатов минералогических, химических и технологических исследований продуктов дробления руды был сделан вывод о нестабильности качественных показателей железорудного сырья, поступающего на рудообогатительные фабрики комбината. Разное соотношение в нем легко- и труднообогатимых руд, разное количество нерудной примеси было причиной различного качества полученного из продуктов дробления руд концентрата (колебания массовой доли железа в нем от 64,8 до 68,0 %), разных потерь магнетита в отходах обогащения (колебания массовой доли в хвостах железа, входящего в состав магнетита, от 0,3 до 3,3 %). Анализ результатов минералогического изучения железорудного сырья, подаваемого на обогащение, показывает необходимость введения операции предобогащения с целью удаления пустой породы. Внедрение операции сухой магнитной сепарации исходной дробленой руды позволило бы вывести из технологического процесса части пустой породы и стабилизировать качество сырья, подаваемого на обогащение.

Минералогическое изучение продуктов обогащения руд было проведено для разных технологических узлов обогатительных фабрик комбината. Установлено, что для продуктов обогащения руд, как и для продуктов их дробления, характерна высокая изменчивость как по гранулометрическому составу измельченного материала, так и по его минеральному и химическому составу. Пределы колебаний минералогических параметров снижаются от начальных к заключительным стадиям обогащения, однако для некоторых продуктов значения минералогических показателей от смены к смене изменяются в несколько раз. Высокая вариативность минералого-технологических характеристик продуктов обогащения исходного сырья свидетельствует о нестабильности его качественных параметров.

Для изучения минерального состава концентратов материал проб концентрата отбирался в разные смены со складов концентрата обеих рудообогажительных фабрик.

Минералогические исследования концентрата выявили, что в его состав кроме мономинеральных частиц магнетита входят также сростки магнетит + кварц, иногда магнетит + кварц + силикат, магнетит + кварц + силикат + карбонат. Силикат обычно представлен куммингтонитом, селадонитом, хлоритом, биотитом; карбонат — сидероплезитом, пистомезитом, ферродоломитом, кальцитом. В незначительном количестве в концентрате содержатся нерудные частицы — мономинеральные кварцевые или имеющие силикат-кварцевый, карбонат-силикат-кварцевый состав. Минералогическое разнообразие нерудных компонентов в составе концентрата обусловлено тем, что на обогажительные фабрики комбината поступает железорудное сырье двух месторождений, которое значительно различается составом руд.

Гранулометрический анализ концентратов определил, что в его состав входит материал следующих гранулометрических фракций, мм: +0,1; -0,1 + 0,074; -0,074 + 0,05; -0,05. Согласно количественным минералогическим подсчетам, при гранулометрическом разделении концентрата мономинеральные частицы магнетита перераспределяются, накапливаясь в наиболее тонкозернистой фракции — менее 0,05 мм. Средняя объемная доля таких частиц в материале этой фракции составляет 86—87 % для концентратов обеих фабрик. В материале более крупнозернистых фракций этот показатель резко уменьшается — для фракции -0,074 + 0,05 мм он равен 43—45 %, в материале фракции -0,1 + 0,074 мм не превышает 10 %, а в материале фракции +0,1 мм — не больше 5 %. Сростки с высокой объемной долей (больше 50 %) магнетита содержатся в концентрате в незначительном количестве и существенно на его качество не влияют. Объемная доля бедных сростков в материале фракции -0,05 мм относительно стабильна — 11—12 %. С увеличением размера частиц количество бедных сростков резко увеличивается и в материале фракции +0,1 мм достигает 80—85 %. Объемная доля нерудных частиц в составе концентрата обеих фабрик незначительна и в среднем составляет 0—0,5 %.

По результатам количественных минералогических подсчетов был сделан вывод о возможности повышения качества концентрата путем отделения от

Выходы продуктов россева исходного концентрата РОФ-1 и РОФ-2 и массовая доля в них железа общего, %

Fe _{общ} в исходном концентрате	Гранулометрическая фракция исходного концентрата, мм							
	+0,1		-0,1 + 0,074		-0,074 + 0,05		-0,05	
	Выход	Fe _{общ}	Выход	Fe _{общ}	Выход	Fe _{общ}	Выход	Fe _{общ}
РОФ-1								
63,8—66,9 65,3	0,1—2,4 1,2	18,6—33,8 25,8	0,7—4,5 2,6	19,0—36 30,6	1,9—8,1 5,8	25,6—55 44,9	85,0—97,3 90,3	67,5—68,5 68,0
РОФ-2								
64,3—65,5 64,8	0,3—3,2 1,5	18,4—34,1 23,9	2,0—5,1 3,4	21,6—39,3 29,1	5,2—14,6 8,3	35,8—64,1 51,1	78,9—91,6 86,8	67,5—68,6 68,1

Примечание. Над чертой — пределы колебаний значений, под чертой — среднее значение.

него наиболее крупнозернистого материала. Для каждой гранулометрической фракции было определено содержание $Fe_{\text{общ}}$ (см. таблицу).

Средняя массовая доля железа общего в концентратах обеих фабрик в материале фракции $-0,05$ мм достигает $68-68,5\%$, выход фракции — около 90% ; для материала фракции $-0,074 + 0,05$ мм эти показатели соответственно составляют $44,9$ и $7,1\%$; для материала фракции $-0,1 + 0,074$ — $29,9$ и $3,0\%$. Самая бедная фракция $+0,1$ мм — соответственно $24,9$ и $1,3\%$.

Таким образом, по результатам минералогических, гранулометрических и химических исследований концентратов сделан вывод, что для повышения качества магнетитового концентрата до $68-68,5\%$ массовой доли железа необходимо выделить из исходного концентрата материал с крупностью частиц более $0,05$ мм.

По результатам минералогических исследований железорудного сырья было предложено несколько схем производства железорудного концентрата высокого качества, с использованием которых массовую долю железа в концентрате возможно повысить с $65,0$ до $68,0-68,5\%$.

Метод тонкого грохочения предлагается применить с использованием грохотов фирмы Деррика. По экспериментальным данным, размер отверстий сит грохота должен составлять $0,05$ мм. Качество концентрата повышается до $68,0-68,5\%$; выход этого продукта превышает 90% . Надрешетный продукт грохочения (промпродукт) может быть направлен на одну из промежуточных (первую или вторую) стадий обогащения для доизмельчения с целью более полного раскрытия магнетита и повторного обогащения.

Высокие показатели концентрата также могут быть достигнуты с использованием гравитационных технологий. При дообогащении конечного концентрата фабрики по схеме с применением винтового сепаратора в лабораторных условиях был получен концентрат с массовой долей железа $68,5-69,0\%$, при этом выход его был несколько ниже — $70-75\%$. Промпродукт дообогащения также направлялся на доизмельчение и повторное обогащение. При гидроциклонировании концентрата фабрики были получены:

- слив гидроциклона — тонкозернистый шламовый продукт, представляющий собой высококачественный концентрат с массовой долей железа $68,0-68,5\%$, выход его составил $30-32\%$;
- пески гидроциклона — железорудный продукт с массовой долей железа $62-63\%$, который может быть использован при изготовлении агломерата, доменного брикета или также доизмельчен и повторно обогащен.

По данным предварительных технико-экономических расчетов, внедрение всех предложенных схем является эффективным. Каждый 1% роста массовой доли железа приводит к повышению стоимости железорудного концентрата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Остапенко П.Е. Теория и практика обогащения железных руд. — М.: Недра, 1985. — 270 с.
2. Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н. Технологическая минералогия железных руд. — Ленинград: Наука, 1988. — 302 с.
3. Богданова И.П., Гехт М.И., Докучаева И.Н. и др. Технологическая оценка железных руд // Изучение вещественного состава и обогатимости железных руд. — М.: Недра, 1976. — С. 57—97.
4. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. — М.: Недра, 1969. — 240 с.
5. Гриван Е.Л., Бердышева Т.Т. Производство богатых железорудных концентратов за рубежом. — М.: Недра, 1997. — 199 с.
6. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. — М.: Недра, 1980. — 400 с.