

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКСНЫХ РУД КРАПИВЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ К ОБОГАЩЕНИЮ

В институте Механобрчермет с 1997г. проводятся научно-исследовательские работы по разработке технологий обогащения комплексных руд Федоровского и Крапивенского месторождений [1, 2, 3, 4]. Руды этих месторождений хрупкие и требуют особых режимов дезинтеграции с минимальным переизмельчением. По данным лабораторных и полупромышленных испытаний разработана принципиальная технологическая схема обогащения фосфор-титан-железосодержащих (комплексных) руд Крапивенского месторождения, которая включает дробление руды до крупности 16-0мм, одностадийное измельчение руды до крупности 0,2-0мм в шаровых мельницах, работающих в замкнутом цикле с классификатором, мокрую магнитную сепарацию в слабом и сильном магнитных полях, гравитацию, уплотнение, флотацию, сушку, электросепарацию и фильтрование. Схема обогащения предусматривает выделение титаномагнетитового концентрата по магнитной схеме, ильменита и оливин-пироксена по магнитно-гравитационно-электрической схеме, апатита и плагиоклаза по флотационной схеме [3, 4].

В вышеприведенных работах выполнен большой объем научно-исследовательских работ по обоснованию и выбору технологии обогащения, а также по отработке режимов обогащения. Однако в этих работах недостаточно было уделено внимания отработке технологии дезинтеграции (дроблению и измельчению).

Дезинтеграция хрупких руд Крапивенского месторождения крупностью 16-0мм до крупности 0,2-0мм в одну стадию приводит к большим циркуляционным нагрузкам, к переизмельчению материала и его ошламованию и как следствие к снижению извлечения полезных компонентов в концентрат. Следовательно, данная технология дезинтеграции не реализуема в промышленности.

В связи с вышеизложенным, были проведены лабораторные исследования по разработке рациональной схемы рудоподготовки комплексных руд Крапивенского месторождения к обогащению.

Руды Крапивенского месторождения, как и титаномагнетитовые руды Качканарского месторождения имеют магматическое происхождение. Технологическая схема переработки титаномагнетитовой руды Качканарского месторождения включает четыре стадии дробления до крупности 25(20)-0мм, сухую магнитную сепарацию, три стадии измельчения (стержневое, шаровое, шаровое) до крупности 75% класса 0,07-0мм и четыре стадии магнитной сепарации, включая межцикловую во второй стадии измельчения [5].

Технологическая схема ОФ комбината «Фосфорит» по переработке фосфоритовой руды Кингисеппского месторождения включает две стадии дробления до крупности 50-0мм, дезинтеграцию и мокрое грохочение по классу 3-0мм, измельчение до 50% класса плюс 0,18мм в замкнутом цикле с классификацией, обесшламливание слива классификатора, основную флотацию и две перечистки концентрата. Концентрат крупнее 0,18мм доизмельчается в шаровой мельнице. По данной технологии из руды содержащей 6,2-7,0 P₂O₅ получают концентрат с массовой долей 28,0-28,5% P₂O₅ при извлечении 76-80% [6].

Из приведенного краткого обзора следует, что технологии переработки титаномагнетитовых и фосфоритовых руд включают многостадийные схемы дробления, измельчения и обогащения.

Для разработки более совершенной технологии переработки (дезинтеграции и обогащения) руды Крапивенского месторождения проведены соответствующие исследования в лабораторных условиях. За основу технологии обогащения были приняты технологии обогащения руд Федоровского и Крапивенского месторождений [1, 2, 3, 4].

Массовая доля TiO_2 , P_2O_5 и $Fe_{общ}$ в исходной пробе крупностью 10(12)-0мм соответственно составляла 7,0; 3,2 и 26,0%. Массовая доля окислов SiO_2 – 30,0%; CaO – 10,39% и MgO – 7,0%. Потери при прокаливании составляли 1,34%. Массовая доля серы составляла 0,25%.

Минеральный состав представленной пробы и распределение основных компонентов по минералам приведен в табл. 1.

Таблица 1

Минеральный состав пробы руды Крапивенского месторождения и распределение компонентов по минералам

Минералы	Массовая доля минералов, %	Массовая доля, %			
		TiO_2	P_2O_5	$Fe_{общ}$	V_2O_5
Титаномагнетит	15,2	3,9	-	8,5	0,063
Ильменит	5,2	2,72	-	1,9	0,002
Апатит	7,4	-	3,2	-	-
Сульфиды железа	0,5	-	-	0,27	-
Гидроксиды железа	3,8	-	-	2,3	-
Плагиоклазы	13,7	-	-	0,1	0,002
Оливин и пироксен	54,2	0,38	-	12,93	0,006
Исходная руда	100,0	7,0	3,2	26,0	0,073

Исследуемая руда более чем на 70% представлена хрупкими минералами – апатитом, плагиоклазом, пироксеном. Крепость руды по Протодяконову – 6-6,5 баллов.

Лабораторные исследования проводились с применением современных химических и физических методов анализа в соответствии с действующими стандартами и методиками. В процессе исследований был изучен вещественный состав и технологические свойства представленной руды. Схема технологических исследований предусматривала измельчение, гравитационное обогащение, мокрое магнитное обогащение, электрическое обогащение и флотацию.

Дробление исходной руды крупностью 10(12)-0мм выполнялось на лабораторных щековой и валковой дробилках до крупности 5(3)-0мм. Следует отметить, что современный уровень техники дезинтеграции позволяет получать в промышленных условиях дробленый продукт крупностью 3(5)-0мм. Для определения рациональной крупности измельчения проведены исследования измельчаемости руды и степени раскрытия минералов. Исследования по кинетике измельчения проводились по методике Широкинско-Гунцова в лабораторной мельнице на руде крупностью 5-0мм.

Измельченная до различной крупности руда отличается количественным соотношением раскрытых рудных зерен и сростков. Так, при времени измельчения 5 мин., основные рудные минералы в крупности плюс 1 мм полностью состоят из сростков. Раскрытие апатита, ильменита и титаномагнетита составляет 39,2; 44,2 и 52,9 %, соответственно. Выход классов -0,071+0мм и -0,024+0мм соответственно составляет 28,0 и 15,6%.

При времени измельчения 10 мин. раскрытие апатита, ильменита и титаномагнетита составляет 63,0, 61,3 и 70,3 %, соответственно. Выход классов -0,071+0мм и -0,024+0мм соответственно составляет 36,9÷42,3 и 17,2%.

При времени измельчения 20 мин. количество нераскрытых зерен резко уменьшается и раскрытие апатита, ильменита и титаномагнетита составляет 91,7; 82,0 и 93,2 %, соответственно. Выход классов -0,071+0мм и -0,024+0мм соответственно составляет 56,9 и 25,8%.

При времени измельчения 40 мин. наблюдается практически полное раскрытие минералов, однако при этом происходит значительный рост класса -0,071+0мм до 83,2%, а класса -0,024+0мм до 43,8%. Такое тонкое измельчение данной руды в одну стадию вызывает осложнения при обогащении и в обогатительных процессах, так как снижает производительность аппаратов, увеличивает затраты на измельчение, что приводит к большим потерям ценных минералов со шламами, которые плохо поддаются обогащению. Особенно это касается апатита.

Исследованиями также установлено, что преобладающие размеры в руде зерен титаномагнетита 0,2-0,6мм; ильменита – 0,15-0,4мм; апатита – 0,4×0,12-0,06×0,26мм; оливина – 0,3-0,7мм; пироксенов – 0,3-0,7мм; плагиоклазов – 0,4-0,8мм.

На основании проведенных исследований по кинетике измельчения с учетом практики измельчения минерального сырья и переработки титаномагнетитовых и фосфоритовых руд, с целью наименьшего переизмельчения выбрано оптимальное время измельчения руды крупностью -5+0мм (по 5% остатку), которое в нашем случае составило 10мин. Удельная производительность мельницы по классу -0,071+0мм составила 0,375т/м³ч.

Измельченный продукт с массовой долей 36,9% класса -0,071+0мм подвергался классификации на грохоте с ячейкой сита 0,16×0,16мм. Доизмельчение продукта плюс 0,16мм осуществлялось в шаровой мельнице объемом 14л шарами диаметром 30-25мм до крупности 30-40% класса -0,071+0мм. Рациональная крупность измельчения определена по данным раскрытия минералов.

Оценивая перспективы и состояние рудной базы горно-обогатительных предприятий, развитие техники и технологии для дезинтеграции руд за последние 30-40 лет можно предположить дальнейшее развитие технологии рудоподготовки: позабойной шихтовки руды с элементами изменения параметров взрывной отбойки, ПСИ с элементами дезинтеграции классов «критической» крупности, стандартное дробление до крупности 3(5)-0мм и шаровое измельчение с применением в замкнутых циклах грохотов вместо классификаторов и гидроциклонов.

На основании выполненного литературного обзора современного состояния техники и технологии дезинтеграции минерального сырья разработана альтернативная технология подготовки комплексной фосфор-титан-железосодержащей руды Крапивенского месторождения (рис. 1).

В основу разработанной схемы рудоподготовки комплексных (фосфор-титан-железосодержащих) руд Крапивенского месторождения положены результаты лабораторных исследований.

В статье рассматривается двухстадиальная технология измельчения с соотношением объемов мельниц по стадиям 1:1. Не исключается применение и трехстадиальных схем с соотношением объемов мельниц по стадиям 2:1:0,5.

Дробление руды (крепостью 6-6,5 баллов) с целью снижения переизмельчения полезных компонентов рекомендуется осуществлять до крупности 5(3)-0мм (по 5% остатку). Дробленая руда измельчается в открытом цикле в шаровой мельнице с низким уровнем слива шарами диаметром 60-30мм до крупности 30-40% класса -0,071+0мм.

Измельченный продукт классифицируется на грохоте с ячейкой 0,16×0,16мм. Надрешетный продукт крупнее 0,16мм доизмельчается в отдельном цикле шарового измельчения шарами диаметром 25-30мм до крупности 30-40% класса -0,071+0мм. Шаровая мельница с низким уровнем слива работает в замкнутом цикле с грохотом. Надрешетный продукт крупностью плюс 0,16мм является циркулирующей нагрузкой. Подрешетные продукты объединяются и направляются на магнитное обогащение в слабом поле с целью выделения сильномагнитного титаномагнетитового продукта с последующим его уплотнением и фильтрованием.

Отличительной особенностью разработанной рациональной технологии рудоподготовки является:

- крупность дробленой руды составляет 3(5)-0мм (по 5% остатку);
- применение двухстадиального (или трехстадиального) шарового измельчения с применением открытого цикла в I стадии и замкнутых в последующих стадиях;
- применение измельчающих шаров в I стадии диаметром 30-60мм, во II стадии – 25-30мм;
- рекомендуемая крупность сливов мельниц по классу 0,071-0мм составляет 30-40%;
- классификация сливов мельниц осуществляется на сите грохота с ячейкой 0,16мм.

Технологическая схема обогащения включает магнитное обогащение в сильном поле с магнитной индукцией $B \geq 0,4-1,1$ Тл для получения черного ильменитового продукта.

Критерием правильности выбора технологии и режима рудоподготовки исследуемой руды может служить флотационное обогащение немагнитной фракции сильного поля для получения апатитового концентрата и плагиоклазового продукта. На основании проведенных экспериментов

разработан следующий реагентный режим: сода – 1,0кг/т; жидкое стекло – 1,5кг/т; МДТМ – 1,2кг/т; жидкое стекло в перемешивающих операциях – 0,1кг/т. Результаты флотации в замкнутом цикле показали, что из хвостов магнитного обогащения в сильном поле с массовой долей $P_2O_5=7,79\%$ был получен апатитовый концентрат 18,7% по выходу с массовой долей $P_2O_5=39,33\%$; $TiO_2=0,159\%$; $Fe_{общ}=1,9\%$. Извлечение P_2O_5 в концентрат составило 94,4%. Апатитовый концентрат в крупности $-0,16+0$ мм содержит 90,2% раскрытого апатита, 2,5% богатых сростков и 3,4% плагиоклаза. Вышеизложенное констатирует, что по предлагаемой технологии рудоподготовки переизмельчение продуктов сведено к минимуму.

Технологическая схема включает также гравитационное обогащение для получения черного ильменитового концентрата. Черновой ильменитовый продукт после сушки обогащается на электросепараторе с целью получения кондиционного ильменитового концентрата и оливин-пироксенового продукта.

Разработанная рациональная схема рудоподготовки и обогащения исключает переизмельчение комплексной руды Крапивинского месторождения и позволяет получать кондиционные титаномагнетитовый, ильменитовый и апатитовый концентраты, а также оливин-пироксеновый и плагиоклазовый продукты.

В заключение следует отметить, что для выбора оптимальной схемы рудоподготовки исследуемых руд необходимо провести исследования по технологии полусамозмельчения с дальнейшим проведением сравнительных испытаний двух технологий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Испытание технологии обогащения комплексных руд Федоровского месторождения в полупромышленных условиях. Отчет (заключительный). Рук. работы Олейник Т.А. Механобрчермет. Кривой Рог. 1977. 126с.
2. Изучение вещественного состава и обогатимости двух проб руды Федоровского месторождения. Рук. работы Соколова В.П. Механобрчермет. Кривой Рог. 2006. 38с.
3. Разработка технологии комплексного обогащения руд Крапивинского месторождения. Отчет (этап 1). Рук. работы Воробьева Л.С. Механобрчермет. Кривой Рог. 2007. 67с.
4. Воробьева Л.С., Воробьев Н.К.(к.т.н.), Габура А.В., Коростелева Е.В. Разработка технологии обогащения комплексных руд Крапивинского месторождения. Сб.трудов ин-та Механобрчермет «Новое в технологии и технике переработки минерального сырья». Кривой Рог. 2007 с. 53-56.
5. Справочник по обогащению руд. Обоганительные фабрики. Под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. 2-е изд. перераб. и доп. М. Недра. 1984. 258с.
6. Справочник по обогащению руд. Обоганительные фабрики. Под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского. М. Недра. 1974. 404с.