

А.С. КИРНАРСКИЙ д-р техн. наук
(Германия, "Инжиниринг Доберсек ГмБХ")

УЛУЧШЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ХРОМИТОВЫХ РУД

Введение. Практика обогащения хромитовых руд предполагает использование контрастности в разделительных признаках полезного и бесполезного компонентов: крупности, плотности, смачиваемости, магнитной восприимчивости, электропроводности. Наиболее широкое применение получили гравитационные методы типа тяжелосредней сепарации, отсадки, мокрой винтовой сепарации, концентрации на столах, сепараторах Райхерта или Мозли. Повышение эффективности процессов гравитационного обогащения возможно при использовании принципа технологической однофункциональности, практическая реализация которого на примере хромитовых руд месторождения "Восход" описана в настоящей работе.

1. Вещественный состав исходной хромитовой руды

Месторождение хромитовых руд "Восход" находится на западе Казахстана в пределах района г. Хромтау. Геологические изыскания позволили установить пять основных рудных разностей: порошокватая богатая хромитовая руда (PCR), сплошная хромитовая руда (MCR), жильная хромитовая руда (VCR), вкрапленная хромитовая руда (DCR), шаровая хромитовая руда (OCR). Минеральное сырье, подаваемое на обогатительную фабрику, является смесью указанных типов руд, хотя преобладают две первые разности. На их долю приходится 60% всей разведанной залежи. Порошковатая хромитовая руда наиболее богата по хрому, но по своим прочностным свойствам она относится к категории мягких горных пород и легко крошится в процессе ее добычи, транспортировки и переработки, при этом образуется значительное количество зернистого (0,05-1,00 мм) и илистого (0,00-0,05 мм) шлама с содержанием триоксида хрома (Cr_2O_3) на уровне 60% , что существенно затрудняет ее обогащение и предопределяет потери ценного компонента с отвальными хвостами. Второй рудный тип – MCR – относительно прочная руда, которая не приводит к ошламование исходного продукта ОФ. После рудоподготовки такой разности получают крупно- и мелкокусковые фракции, легко обогащаемые в тяжелосредних циклонах с высококачественными продуктами разделения. Третий сорт перерабатываемой руды (VCR) отличается наличием богатых разностей в сочетании с минерализованной пустой породой типа дунитов. Следующая так называемая вкрапленная руда (DCR) имеет различное содержание хромита и может варьироваться от высококачественной до низкосортной рудной массы. Тонкие вкрапления хромита требуют для их раскрытия тонкого измельчения. Наконец, пятая разновидность анализируемого минерального сырья, руда OCR, большей

Гравітаційна сепарація

частью является богатой, хотя в шаровом хромите нередко встречаются вкрапленности низкосортных жильных минералов, что значительно понижает ее качественные характеристики.

На обогатительную фабрику руда подается двумя потоками – богатая руда со средним содержанием Cr_2O_3 на уровне 48,5% и относительно бедная руда со средним содержанием Cr_2O_3 не более 41,0%.

Коэффициент крепости данной руды по шкале М.М. Протодьяконова равен 6-8, что позволяет отнести ее к мягким породам. Истинная и насыпная плотность руды составляет соответственно 3,6 и 2,08 т/м³. Влажность рудной массы – 4,0%.

Минералогический анализ рядовой руды обнаружил содержание хромшпинелида в пределах от 61 до 80%, при этом основными вредными компонентами являются серпентин, брусит, магнетит и оливин, среднее содержание которых составляет 25, 3,8, 1,8 и 1,5% соответственно.

Гранулометрический состав рядовой хромитовой руды до и после ее дробления представлен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты ситового анализа исходной хромитовой руды

Класс крупности, мм	Выход массовый классов крупности, мм	
	до дробления руды	после дробления руды
+500	3,0	0,0
300-500	4,0	0,0
150-300	46,0	0,0
100-150	18,0	2,0
50-100	17,0	35,0
25-50	7,0	25,0
10-25	3,0	19,0
6-10	1,5	5,0
1-6	0,5	8,0
0,1-1	0,0	4,0
0-0,05	0,0	2,0
Итого	100,00	100,0

2. Рудоподготовка минерального сырья

Рядовая руда при максимальной крупности исходного куска 500 мм доставляется самосвалами в приемный бункер или на промежуточный склад. Бункер оснащается колосниковым грохотом, на котором улавливаются, а затем при помощи гидромолота разрушаются негабариты (+500 мм). Подрешетный продукт колосникового грохота пластинчатым питателем направляется на следующий колосниковый грохот предварительного грохочения, назначение которого сводится к удалению класса менее 100 мм перед дроблением, что уменьшает нагрузку на щековую дробилку и предотвращает образование мелких фракций, сокращает износ прокладок и расход электроэнергии. Щековая дробилка работает в замкнутом цикле с грохотом поперечного грохочения, при этом надрешетный продукт последнего (+100 мм) конвейером возвращается непосредственно в загрузочный лоток дробильного агрегата.

Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 46(87)

Гравітаційна сепарація

Дроблений продукт при помощи двухситного вибрационного грохота разделяется на три машинных класса:

- крупный машинный класс 10-100 мм;
- мелкий машинный класс 1-10 мм;
- тонкий машинный класс 0-1,0 мм.

Руда указанной крупности распределяется по трем бункерам, откуда она транспортируется на гравитационное обогащение.

3. Гравитационное обогащение дробленой хромитовой руды

Крупный и мелкий машинные классы разделяются по плотности при помощи тяжелосредней сепарации в барабанах и циклонах соответственно. Тонкая руда обогащается на винтовых сепараторах в две стадии.

Машинный класс крупностью 10-100 мм из бункера при помощи вибропитателя подается на конвейер и далее транспортируется на обесшламливающий грохот, надрешетный продукт которого смешивается с ферросилициевой суспензией и заполняет барабан, а подрешетный продукт направляется в шламовое отделение. Тяжелая фракция тяжелосреднего разделения подъемником укладывается на внутренний желоб, откуда струей материал перемещается на дренажно-промывочный грохот, надрешетный продукт которого является собой кондиционный крупный концентрат, подлежащий накоплению в специальных бункерах. Легкая породная фракция, в свою очередь, разгружается из выпуска барабана на дренажный желоб и далее на промывочный грохот. Надрешетный продукт промывочного грохота – это крупные отвальные хвосты, которые аккумулируются в бункерах, через подвижные затворы которых они отгружаются в самосвалы и перевозятся в отвал. Отмытая концентрированная суспензия заданной плотности после первой секции промывочных грохотов сбрасывается в бак кондиционной суспензии, откуда насосом она возвращается через напорный резервуар в барабанный сепаратор. Разбавленная рабочая суспензия после второй секции грохотов самотеком попадает в бак некондиционной суспензии, откуда насосом она подается на магнитные сепараторы системы регенерации утяжелителя, при этом извлеченный ферросилиций проходит через размагничивающий аппарат и далее возвращается на тяжелосреднюю сепарацию (ТСС). Слив магнитного сепаратора собирается в отстойнике, перелив которого возвращается в оборот на промывочные грохоты, а осадок подвергается контрольной магнитной сепарации.

Мелкая фракция рядовой руды крупностью 1-10 мм из бункера конвейером подается на обесшламливающий грохот, на котором отсеиваются шламы (-1,0 мм), которые направляются в шламовое отделение на мокрую винтовую сепарацию. Надрешетный продукт указанного грохота конвейером транспортируется в смеситель, где имеет место перемешивание рудной мелочи с кондиционной суспензией ферросилиция до заданной плотности, после чего гидросмесь самотеком истекает в тяжелосредний циклон диаметром 510 мм. Продукты центробежной ТСС подлежат обработке на промывочных грохотах и промежуточному складированию в бункерах. Отмыв и регенерация утяжелителя здесь

Гравітаційна сепарація

осуществляется аналогично тому, как это имеет место на стадии обогащения крупной хромитовой руды.

Хромитовые шламы размером менее 1,0 мм в составе пульпы при содержании твердого 7,8% насосом закачиваются в гидроциклон, слив которого сбрасывается в хвостовой сгуститель, а пески при заданном оптимальном содержании твердого (37%) через пульподелитель распределяются по винтовым сепараторам на стадии основной мокрой винтовой сепарации (МВС).

Концентрат основной МВС самотеком истекает на спирали перечистой МВС, а промпродукт основной МВС – на спирали контрольной МВС. После перечистой операции получают кондиционный шламовый концентрат, который направляется на обезвоживание. Промпродукт перечистой МВС сбрасывается в зумпф и далее подается на гидроциклонирование основной МВС. Концентрат и промпродукт контрольной МВС направляются на перечистную МВС. Хвосты основной, перечистой и контрольной МВС объединяются и перекачиваются насосом на сгущение. Описанная технология обогащения хромитовых шламов на винтовых сепараторах графически представлена на рис. 1. Ее необходимость не вызывает сомнений, так как контрастность свойств хромита, имеющего плотность 4,6-4,8 т/м³, и нерудных минералов типа серпентина, брусита и оливина, плотность которых соответственно равна 2,6, 2,3 и 3,4 т/м³, достаточная, чтобы получить кондиционные продукты гравитационного разделения.

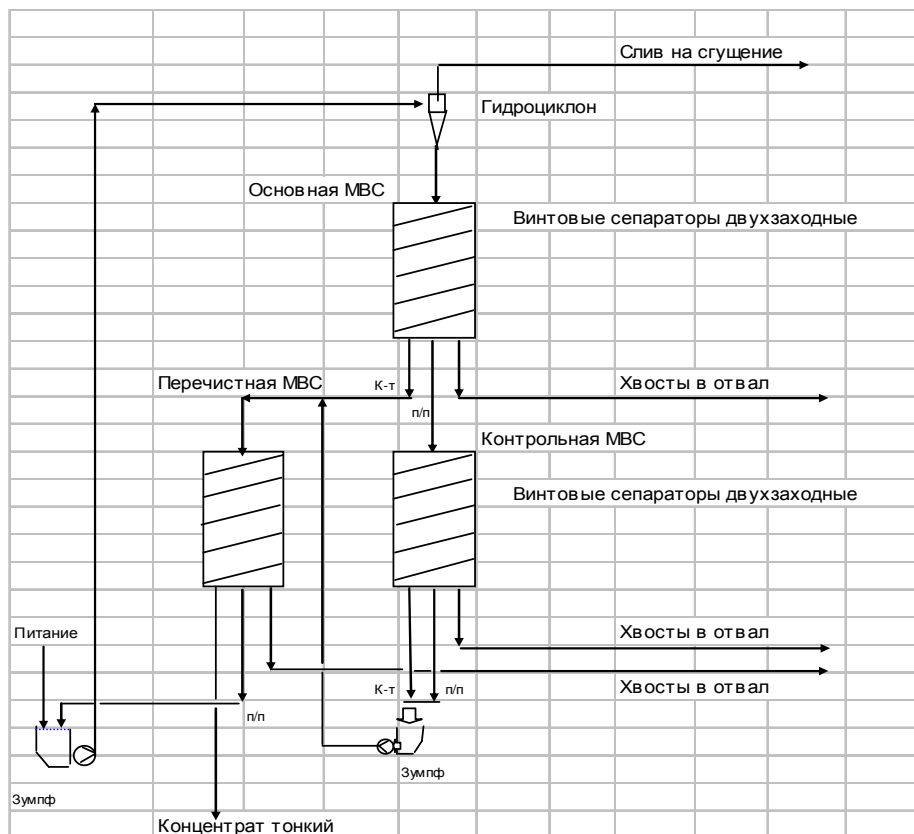


Рис. 1. Технология мокрой винтовой сепарации хромитовых шламов

Гравітаційна сепарація

4. Обезвоживание продуктов гравитационного обогащения

Как было отмечено, продукты тяжелосреднего обогащения крупной и мелкой хромитовой руды сравнительно легко отмываются от суспензоида и обезвоживаются на виброгрохотах. Более сложной есть операция обезвоживания тонкого или шламового продукта. Она включает сгущение в гидроциклонах с последующим обезвоживанием песков на грохотах, после чего надрешетный продукт последних складывается в штабеля. Хвосты сначала сгущаются в гидроциклонах, а затем в сгустителе, при этом сгущенные пески гидроциклонов и сгустителя собираются в емкости, откуда насосами при содержании твердого 30% отправляются в хвостохранилище. Слив сгустителя и хвостохранилища направляется в резервуар оборотной воды с последующим ее использованием в технологическом процессе. Объем воды, циркулирующей в системе, составляет 451,4 м³/час. Уровень внутреннего водооборота достигает 95%. Удельный расход воды в системе – 3,58 м³ на 1 т исходной руды.

5. Анализ и предложения по улучшению существующей технологии гравитационного обогащения хромитовой руды

Представленная технология гравитационного обогащения хромитовой руды тремя машинными классами позволяет эффективно перерабатывать предварительно дробленую руду при низком водопотреблении. Содержание хромита (Cr₂O₃) в крупно- и мелкокусковом концентратах составляет 45-48 и 50,9% соответственно, а в тонком концентрате этот показатель равен 52%. Существенное значение для применяемых сепарационных процессов имеет тщательное обесшламливание материала перед каждым технологическим переделом, которое в условиях тяжелосреднего обогащения осуществляется на виброгрохотах, а при разделении на винтовых поверхностях – в гидроциклонах. Разделение в тяжелой жидкости при этом реализуется двумя машинными классами: крупным в барабанах и мелким – в тяжелосредних циклонах, что позволяет повысить эффективность разделения по плотности и свести потери полезного компонента к минимуму. Так, в хвостах тяжелосредних сепараторов и циклонов содержание хромита (Cr₂O₃) не превышает соответственно 3,15 и 4,3%.

Таким образом, рассмотренная технология обогащения хромитовых руд позволяет разделить контрастные компоненты с получением необходимого качества концентрата и отходов, для чего используется тяжелосредняя сепарация (ТСС) при обогащении крупно- и мелкокусковой руды. Это объясняется тем, что в условиях ТСС-процесса действует один разделительный признак – плотность минеральных зерен. Влияние другого, основного при гравитационном обогащении, разделительного признака – крупности частиц – практически исключено, что подтверждает однофункциональность обогатительных процессов.

В тоже время, при мокрой винтовой сепарации тонкой фракции хромитовой руды (0-1 мм) имеет место проявление двух указанных разделительных признаков, что приводит к увеличению взаимозасорения продуктов обогащения, так как функция нормального распределения, как интеграл плотности нормального распределения, с увеличением количества переменных (разделитель-

Гравітаційна сепарація

ных признаков) становится менее островершинной, а ее асимметрия, как следствие ее смещения по оси абсцисс, означает нарушение технологического равновесия и ухудшение показателей сепарационного процесса [1]. Для обеспечения однофункциональности при обогащении тонкого класса крупностью 0-1мм целесообразно этот класс предварительно разделить на узкие классы, а затем каждый из них подвергнуть обогащению по плотности. В этом случае влияние крупности частиц сводится к минимуму. Практика обогащения хромитовых руд в Иране [2] свидетельствует о перспективности такого подхода (табл. 2).

Таблица 2

Результаты обогащения узких машинных классов хромитовой руды на концентрационном столе [2]

Исходные классы		Концентрат		Промпродукт		Хвосты	
Крупность, мм	Сод. Cr ₂ O ₃ , %	Cr ₂ O ₃ , %	E _{Cr₂O₃} , %	Cr ₂ O ₃ , %	E _{Cr₂O₃} , %	Cr ₂ O ₃ , %	E _{Cr₂O₃} , %
1,2-2,0	17,32	28,63	65,30	13,34	17,90	7,85	16,80
0,8-1,2	14,32	35,43	53,70	12,67	23,30	7,85	23,00
0,2-0,8	21,76	29,30	92,37	6,23	4,47	4,30	3,16
0,15-0,2	23,46	49,10	45,33	29,82	24,91	11,80	29,76
0,075-0,15	32,76	43,58	89,00	11,65	7,00	9,49	3,82

Примечание: E_{Cr₂O₃}, % – извлечение хромита в продукты разделения

Особую сложность вызывает обогащение ультратонких шламов крупностью менее 0,075 мм. Обычно, такие классы подвергаются флотации в щелочной среде с применением в качестве собирателя олеата натрия, при этом извлечение достигает 61,3%.

Высокоградиентная магнитная сепарация (ВГМС) назначается для доводки гравито- или флотоконцентрата, при этом магнитная индукция в рабочей зоне должна составлять 1,5-1,8 Тл.

На наш взгляд технологически эффективной и экономически рентабельной может быть обогащение ультратонких классов в сепараторах Мозли, результаты исследований обогатимости хромитов в которых описаны в работах [2-3]. Согласно этим данным при обработке тонких и ультратонких материалов содержание твердого в питании такого сепаратора составляет 33%, угол наклона – 4-5°, частота вращения барабана – 220 об/мин, амплитуда колебаний – 15 мм и частота колебаний – 4,8 кол/сек, расход промывочной воды – 5 л/мин. Содержание хрома в зернистом концентрате может достигать 52,14% при извлечении на уровне 69,57%, а в илистом – 43,53% при извлечении – 51,40%.

Таким образом, разделив хромиты крупностью 0-1 мм на ряд узких классов и обеспечив селективное гравитационное их обогащение в винтовых сепараторах, концентрационных столах и сепараторах Мозли, можем рассчитывать на достижение более высоких технологических показателей по сравнению с переработкой одного широкого машинного класса.

Гравітаційна сепарація

Выводы

1. Хромитовая руда месторождения "Восход" обогащается тремя машинными классами: 10-100, 1-10 и 0-1 мм. Крупный и мелкий класс разделяется по плотности соответственно в тяжелосредних сепараторах и циклонах, а тонкая руда подвергается мокрой винтовой сепарации.

2. На каждой операции гравитационного обогащения перерабатываемой руды применяется обесшламливание на вибрационных грохотах и в гидроциклонах.

3. Повышение извлечения хромита, возможно, прежде всего, за счет сокращения его потерь с отходами мокрой винтовой сепарации, для чего обогащение тонкого материала необходимо обогащать не одним широким, а несколькими узкими машинными классами с применением не только винтовых сепараторов, но и концентрационных столов и сепараторов Мозли.

Список литературы

1. **Кирнарский А.С.** Принцип однофункциональности разделительных процессов при обогащении полезных ископаемых // Горный журнал. – 2010. – №2. – С. 20-23.

2. Hossein Nematollahi. Reprocessing of chromite tailings of Farich Mine. Tailings and Mine: Waste-96, Balkema, Rotterdam, – 1996. – P. 559-572.

3. **N. Gence.** Beneficiation of Elasiq-Kefdag chromite by multi gravity separator. Tr.J. Engineering and Environmental Science. – 29(1999). – P. 473-475.

© Кирнарский А.С., 2011

*Надійшла до редколегії 05.09.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Пиловим*