

М.О. ОЛЕЙНИК, С.В. МИХНО

(Украина, Кривой Рог, Криворожский национальный университет)

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ ТИТАНСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ КРОПИВЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Проблема повышения инвестиционной привлекательности разработки отечественных титансодержащих комплексных месторождений коренных руд может решаться двумя путями: поисками богатых руд или совершенствованием технологии их переработки. Руды, с неравномерной вкрапленностью минералов и содержащие легкошламуемые минералы, перерабатываются по стадийным схемам с большим количеством перечистных операций. Принцип постепенного раскрытия минеральных комплексов в продуктах обогащения с последующим извлечением раскрытых минеральных частиц осуществляется в большинстве схем обогащения.

Поэтому главным средством повышения экономической эффективности освоения титансодержащих месторождений следует считать повышение селективности разделения многокомпонентных руд. Для решения всего комплекса технологических задач первоочередным направлением является разработка надежной технологической схемы переработки комплексных титансодержащих руд коренных месторождений на основе знания особенностей их вещественного состава и поведения минералов при использовании того или иного силового поля. Данное направление является сегодня довольно актуальным научно-практическим заданием.

Анализ исследований и публикаций. Надежность технологической топологии зависит от структуры технологических связей ее элементов и позволяет оценивать надежность технологии уже на первых стадиях исследований. Анализ надежности технологической топологии схемы состоит в нахождении в ней скрытых структурных недостатков системы и в определении минимального множества элементов, отказ которых приведет к отказу системы в целом, т. е. в определении элементов, являющихся "узкими" местами схемы (наиболее нагруженных технологическими связями), с целью выбора их оптимальной структуры. В целях создания работоспособных и высоконадежных технологических объектов на каждой стадии исследований применяются методы обеспечения и повышения надежности [1, 2]. Надежность технологической топологии схемы повышают либо путем изменения структуры технологических связей, либо путем ввода резервных технологических связей и резерва для элементов, являющихся ее "узкими" местами. Для этих элементов также необходимо обеспечить повышение их физической надежности уже на стадии проверки технологии с оптимальной ее организацией и контролем качества продуктов обогащения, так

Загальні питання технології збагачення

как именно это обеспечит повышение эксплуатационной надежности технологии в целом.

Поскольку сложные технологические схемы обогащения комплексного сырья могут иметь разную направленность, их надежность в общем случае количественно определяется совокупностью показателей или характеристик надежности для каждого из этих направлений и определяет обобщенную оценку эффективности обогатительного производств. Таким образом, одним из важнейших направлений повышения эффективности комплексной технологии является сохранение основных технических характеристик процессов в течение эксплуатации технологического решения на основе использования таких методов повышения надежности, как:

- увеличение всех видов надежности за счет применения наиболее надежного, выпускаемого серийно стандартизированного и унифицированного оборудования, контроля его работы и выбора оптимальных режимов;

- проведение проверки работоспособности как отдельных блоков схемы, стадий схемы, так и самой технологии в целом, диагностическое прогнозирование снижения показателей обогащения руды с целью их предупреждения.

Для повышения надежности технологической схемы обогащения комплексных руд в первую очередь необходимо проанализировать возможность повышения надежности ее элементов, причем эффект будет тем значительнее, чем сложнее система и чем больше в ней элементов [1].

Однако чаще всего более надежные элементы схемы имеют, более сложную собственную структуру и более высокую стоимость. Кроме того, осуществление некоторых методов повышения надежности элементов часто требует проведения сложных технологических мероприятий, поэтому в каждом конкретном случае необходимо соотнести полезный эффект от повышения надежности технологической схемы с затратами на ее осуществление.

Постановка задачи

Поэтому целью работы явилось выявление особенностей вещественного состава комплексных руд Кропивенского месторождения, влияющих на технологические показатели их обогащения, и разработка критериев прогноза технологических свойств с их использованием при дальнейших работах.

Изложение материала и результаты

На первых этапах исследования был выполнен гранулометрический и магнитный анализы исходной руды, дробленной до крупности 3-0 мм.

Гранулярная характеристика исходных проб приведена на рис. 1. Количество класса -3+1 мм (в котором в основном находится самое большее количество сrostков) в дробленной руде находится на уровне 29%, выход самого тонкого класса -0,04+0 мм составляет около 7-8%.

На рис. 2 приведены результаты магнитного фракционирования каждого класса крупности (кроме класса -0,04+0мм). Кроме магнитного анализа был проведен детальный минералогический анализ полученных фракций различной крупности.

Анализ результатов исследований показал, что гранулярная характери-

Загальні питання технології збагачення

ка дробленого продукту подчиняється полиномиальному закону четвертой степени распределения частиц по крупности с достоверностью аппроксимации 0,996, что свидетельствует о равномерном распределении классов, так как нагрузка на кусок при дроблении идет по всей его плоскости:

$$R^+ = -1,6833d^4 + 6,204d^3 + 15,022d^2 - 87,722d + 96,806$$

где R^+ – суммарный остаток на сите, %; d – размер зерна, мм.

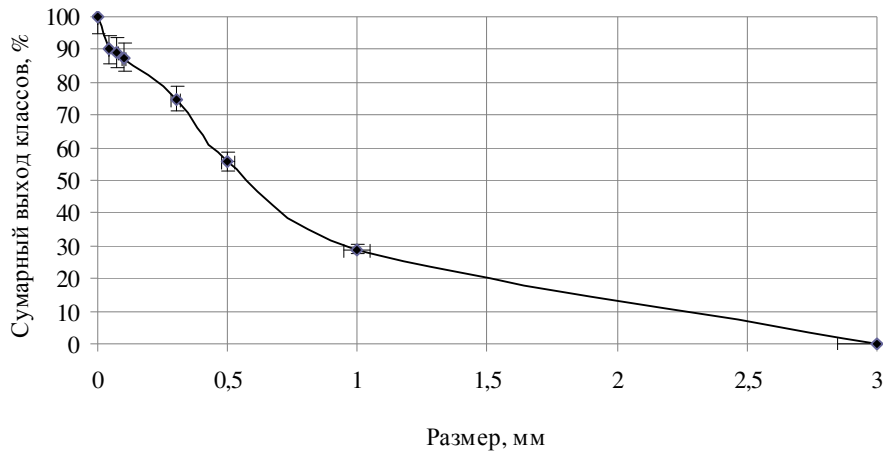


Рис. 1. Гранулярная характеристика исходной дробленой руды Кропивенского месторождения

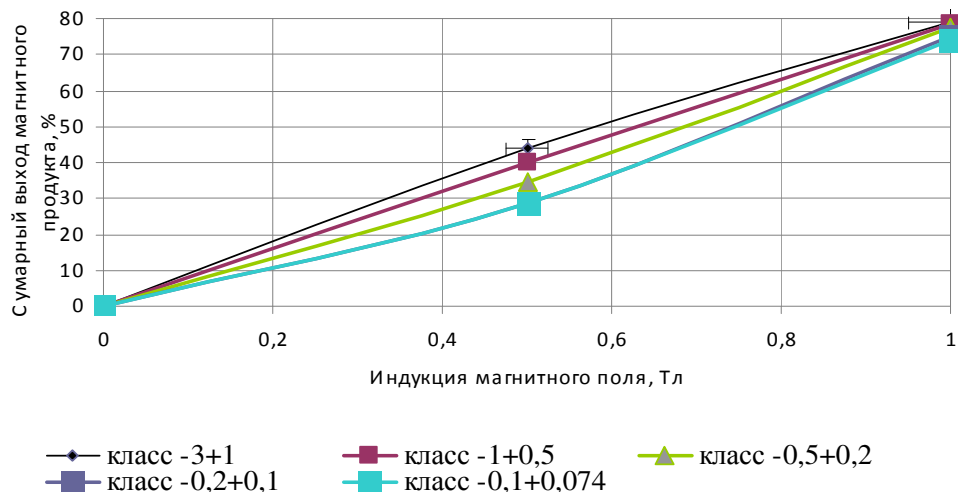


Рис. 2. Магнитный анализ классов крупности исходной дробленой руды Кропивенского месторождения

При условии применения для разрушения материала в промышленном масштабе конусных или щековых дробилок, очевидно, что при дроблении руды необходимо ожидать подобную гранулярную характеристику материала с 10% отклонением от принятых показателей.

Загальні питання технології збагачення

Анализ результатов минералогического анализа показал, что титаномагнетит начинает выделяться при крупности $-1+0,5$ мм – содержание его в сильномагнитной фракции составляет 9,2%.

При крупности $-0,5+0,25$ мм количество титаномагнетита в сильномагнитной фракции возрастает до 23,3%, и самое его значительное количество наблюдается в классе крупности $-0,25+0,1$ мм – 48,5%.

Приведенные данные подтверждают рациональность принятой начальной крупности мокрой магнитной сепарации равной $-0,25+0,2$ мм.

Свободный ильменит появляется в слабомагнитной фракции при крупности $-1+0,5$ мм, где количество его составляет всего 0,7%. Количество сростков ильменита с магнетитом даже при крупности $-0,1+0,074$ мм еще достаточно высоко и составляет в сильномагнитной фракции 28,3%.

Количество сростков магнетита с апатитом и силикатными минералами даже при крупности $-0,5+0,25$ мм составляет 22,6%, при крупности $-0,25+0,1$ – 12,7% и $-0,1+0,074$ – 6,2%. Таким образом, полного раскрытия титаномагнетита от апатита и силикатных минералов не наступает даже при очень малой крупности. Соответствующие показатели для ильменита в сростках с силикатами и апатитом при крупности $-0,5+0,25$ мм составляют 13,7%, при крупности $-0,25+0,1$ мм – 3,3% и при крупности $-0,1+0,074$ мм – 4,2%.

Для коренных руд Кропивенского месторождения свободный магнетит появляется уже в сильномагнитной фракции крупностью $-3+1$ мм (70,2%, при содержании сростков магнетита с ильменитом 26,7%). Но при этой крупности количество титаномагнетита в сростках с силикатами и апатитом составляет 9,8%. При крупности $-1+0,5$ мм и $-0,5+0,25$ мм количество сростков ильменита и титаномагнетита в сильномагнитной фракции практически не снижается. Лишь при крупности $-0,25+0,1$ мм количество сростков титаномагнетита с силикатами и апатитом в сильномагнитной фракции снижается до 5,3%, а при крупности $-0,1+0,074$ мм до 2,3%.

Приведенные данные указывают на трудность получения чистого титаномагнетитового концентрата без примесей силикатных минералов и апатита даже при низкой крупности обогащения.

Свободный ильменит в слабомагнитных фракциях появляется уже при крупности $-3+1$ мм. Однако сростков ильменита с силикатами и апатитом при этой крупности в слабомагнитной фракции содержится 15% и в классе $-1+0,5$ и $-0,5+0,25$ мм не снижается и лишь при крупности $-0,25+0,1$ мм составляет 2,8%.

Количество совместных сростков магнетита, ильменита, апатитов и силикатов в классе крупностью $-3+1$ мм составляет 2,1%, в классах $-1+0,5$ мм и $-0,5+0,25$ мм снижается до 1,1 и 0,9% соответственно, а в материале мельче 0,25 мм таких сростков не наблюдается.

В руде отмечается наличие силикатных минералов и апатита с включениями темноцветных железосодержащих минералов, что предопределяет переход их в слабомагнитную ильменитсодержащую фракцию. В слабомагнитной фракции крупностью $-3+1$ мм таких ожелезненных силикатов и апатита содер-

Загальні питання технології збагачення

жится 12,5%, крупністю -1+0,5 мм – 10,6% при крупности -0,5+0,25 мм – 8,8% и даже при крупности -0,25+0,1 мм и – 0,1+0,074 мм снижается только до 5%.

Приведенные данные указывают на трудность получения кондиционных ильменитовых концентратов. Необходимо будет проводить гравитационное обогащение с максимальным удалением из черного ильменитового концентрата ожелезненных силикатных минералов и апатита, что неизбежно повлечет снижение извлечения ильменита из руды.

В целом, проведенные гранулометрично-магнитно-минералогические исследования руд подтвердили целесообразность выбора начальной крупности глубокого обогащения для получения кондиционных концентратов равную - 0,25 мм.

При этом получение высококачественных титаномагнетитовых концентратов будет в определенной мере затруднено наличием сростков титаномагнетита с силикатами даже при крупности – 0,1 мм. Поэтому в цикле получения титаномагнетитового концентрата необходимо предусмотреть межцикловое измельчение до крупности 99% класса менее 0,074 мм, так как титаномагнетит полностью раскрыт только при крупности 0,044 мм.

Более трудным вопросом будет являться отделение от ильменита полевых шпатов и апатита с включениями рудных минералов и железосодержащих темноцветных силикатов.

В целом выявлена четкая иерархия перехода в магнитные фракции сростков в зависимости от магнетита. Любой сросток, содержащий магнетит, переходит в сильномагнитную фракцию (порядка 0,1 Тл): сростки магнетита с ильменитом полностью переходят в сильномагнитную (магнетитовую) фракцию, сростки магнетит – ильменит – силикаты – апатит также переходят в магнетитовую фракцию, даже светлые породные силикатные минералы в основном анортозит с включениями магнетита переходят в магнетитовую фракцию. Сростки ильменита с силикатными минералами переходят в слабомагнитную (ильменитовую) фракцию. В эту же фракцию переходят темноцветные железосодержащие силикатные минералы, а также светлые силикатные минералы и апатит с включением темноцветных – ильменита и железосодержащих силикатов. В немагнитную фракцию переходят "чистые" светлые силикатные минералы и апатит без каких-либо включений темноцветных (рудных и нерудных) минералов.

Указанную иерархию минеральных ассоциаций по магнитным свойствам иллюстрируют величины извлечения различных минералов в слабомагнитную (ильменитовую) фракцию – 66-99,9%.

Свободный ильменит практически полностью переходит в данную фракцию. Из общего количества "чистых" силикатных темноцветных и светлых силикатов в данную фракцию переходят до 70% от их общей массы. Это амфиболы (роговая обманка) и пироксены. В эту фракцию переходит также большинство светлых силикатов и апатита с включениями темных (рудных и нерудных) силикатов – около 90-100%. Часть светлых силикатов с включениями магнетита переходит в сильномагнитную фракцию.

Приведенные факты указывают на проблематичность извлечения ильмени-

Загальні питання технології збагачення

та в магнитном поле высокой интенсивности. При высоком извлечении самого магнетита в магнитную фракцию будет извлекаться практически все темноцветные силикатные минералы, и даже часть светлых силикатных минералов и апатит, имеющих включения темноцветных (ильменита и нерудных силикатных минералов). Качество такого ильменитсодержащего слабомагнитного продукта, а, следовательно, и эффективность последующей доводки его электрической сепарацией, будет определяться соотношением количеств в данной конкретной руде ильменита, с одной стороны, и темноцветных силикатных минералов, а также светлых силикатных минералов с включением ильменита и темноцветных, с другой.

Следует напомнить, что процесс электрической сепарации на подобных рудах достаточно эффективно протекает при содержании ильменита в исходном материале не менее 80%.

При содержании в исходном материале менее 60% ильменита процесс электрической сепарации протекает нестабильно, требуются многократные перечистки проводящих промпродуктовых и непроводящих фракций, что с трудом реализуется в лабораторных условиях, но крайне затруднительно будет реализовать в промышленных масштабах.

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, в результате изучения надежности топологии технологических схем обогащения руды Кропивенского месторождения, предложена технология комплексного обогащения, согласно которой исходную руду необходимо дробить в три стадии до 16(10) -0 мм, измельчать до крупности 0,25-0,2 мм и делить на три технологических блока. Технологический блок получения титаномагнетитовых концентратов будет включать магнитную технологию в слабом поле с дополнительной стадией измельчения, блок выделения ильменитового концентрата будет осуществляться по гравитационно-магнитно-электростатической технологии. Так как эти руды содержат и еще один ценный минерал апатит и получение апатитового концентрата возможно только по флотационной технологии, то технологическая схема обязательно будет содержать флотационную цепочку получения апатитового концентрата с дополнительным измельчением промпродуктов.

Список литературы

1. Надежность технических систем / Е.В.Сугак, Н.В. Василенко, Г.Г. Назаров и др. – Красноярск: МГП "РАСКО", 2001. – 608 с.
2. ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие требования по надежности. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
3. Олійник Т.А., Поліщук О.В., Олійник М.О. Закономірності магнітної сепарації титаномагнетиту комплексних руд корінних родовищ України // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. – 2008. – Вип. 21. – С. 66-71.

© Олейник М.О., Михно С.В., 2012

*Надійшла до редколегії 06.02.2012 р
Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник*

Збагачення корисних копалин, 2012. – Вип. 48(89)