

УДК 622.733:622.774913.1:622.765

М.О. ОЛЕЙНИК (аспирант)

Криворожский национальный университет, Кривой Рог

ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ ТОПОЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ РУД

Приведены элементы топологии технологической схемы обогащения коренных руд Кропивнянского месторождения. Установлены закономерности вещественного состава руд. Предложена технологическая схема переработки комплексных титаносодержащих руд Кропивнянского месторождения с получением трех товарных концентратов.

Ключевые слова: месторождение, обогащение, руда, схема, титан, топология

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Проблема повышения инвестиционной привлекательности разработки месторождений титаносодержащих комплексных коренных руд может решаться двумя путями: поисками богатого сырья или совершенствованием технологии переработки бедных тонковкрапленных руд. 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.

Сложные технологические схемы обогащения комплексного титановых руд коренных месторождений имеют разную направленность, а их надежность в общем случае количественно определяется совокупностью показателей или характеристик надежности для каждого из этих направлений и определяет обобщенную оценку эффективности обогатительного производств. Поэтому, одним из важнейших направлений повышения эффективности комплексной технологии является сохранение основных технических характеристик процессов в течение эксплуатации технологического решения на основе использования таких методов надежности топологии схемы, 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.

Анализ исследований и публикаций. Следует отметить, что 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 [1,2,3]. 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 как именно это обеспечит повышение эксплуатационной надежности технологии в целом.

Для повышения надежности как элементов технологической схемы обогащения комплексных руд, так и ее в целом, 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].

В качестве примера в работе взяты руды Кропивнянского месторождения Украины.

Постановка задачи. Целью работы явилось выявление особенностей вещественного состава комплексных руд Кропивнянского месторождения Украины, влияющих на элементы топологии схемы, технологические показатели их обогащения, и разработка критериев прогноза технологических свойств с их использованием при дальнейших работах.

Изложение материала и результаты. Для достижения поставленной цели было приведено магнитное фракционирование каждого класса крупности с детальным минералогическим анализом полученных фракций [4].

Анализ результатов минералогического анализа продуктов магнитного фракционирования 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%. 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, полное раскрытие титаномагнетита от апатита и силикатных минералов не наступает даже при очень малой крупности. 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%. По результатам магнитного фракционирования и минералогического анализа, в технологической схеме для выделения титаномагнетитового концентрата, обоснована начальная крупность мокрой магнитной сепарации – $0,25-0,2$ 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.

После магнитного фракционирования для подтверждения выводов была проведена магнитная сепарация в слабом и сильных полях, результаты которой приведены в таблице 1. В результате анализа выполненных исследований по магнитной сепарации, в целом, выявлена четкая иерархия перехода в магнитные фракции сростков в зависимости от магнетита.

Таблица 1 – Результаты магнитной сепарации руды Кропивенского месторождения

Продукты	Выход, %	Минералогические зерна и агрегаты зерен								Всего
		титано-магнетит	ильменит	апатит	оливин	пироксен	плагиоклаз	сульфиды***	другие****	
<i>Сухая магнитная сепарация</i>										
Приходит										
исходная руда	100,0	19,1	4,3	6,6	15,3	43,4	9,4	0,7	1,2	100
выходит:										
магнитный продукт	92,88	20,70*	3,90	6,90	14,70	43,1	8,90	0,70	1,10	100
		19,2**	3,6	6,4	13,7	40,0	8,3	0,7	1,0	92,88
немагнитный продукт	7,12	1,90	7,40	7,10	17,40	49,10	12,70	0,10	4,30	100
		0,1	0,5	0,5	1,2	3,5	0,9	0,0	0,3	7,12
<i>Мокрая магнитная сепарация в слабом поле</i>										
приходит										
магнитный продукт СМС	92,88	20,70*	3,90	6,90	14,70	43,1	8,90	0,70	1,10	100
выходит:										
магнитный продукт – титаномагнетитовый концентрат	17,89	96,80	0,20	0,10	0,30	1,10	0,20	1,10	0,20	100
		17,32	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	17,89
немагнитный продукт	73,49	2,10	4,30	8,20	17,60	52,40	13,10	0,20	2,10	100
		1,54	3,2	6,0	12,9	38,5	9,6	0,1	1,5	73,13
сливы	1,5	2,40	3,90	2,30	22,40	59,80	7,80	0,10	1,30	100
		0,04	0,1	0,0	0,3	0,9	0,1	0,0	0,0	1,87
<i>Мокрая магнитная сепарация в сильном поле (ВГМС)</i>										
приходит										
немагнитный продукт	73,49	2,10	4,30	8,20	17,60	52,40	13,10	0,20	2,10	100,0
		1,54	3,2	6,0	12,9	38,5	9,6	0,1	1,5	73,13
выходит:										
магнитный продукт	28,83	3,10	14,40	1,10	15,30	65,40	0,10	0,30	0,30	100,0
		0,89	4,2	0,3	4,4	18,9	0,0	0,1	0,1	28,83
немагнитный продукт	44,3	0,60	0,10	11,70	18,70	43,60	22,10	0,10	3,10	100,0
		0,27	0,0	5,2	8,3	19,3	9,8	0,0	1,4	44,30
слив сгущения продуктов	0,36	4,10	4,60	20,10	29,30	40,10	0,10	1,60	1,60	100,0
		0,00	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	2,93

* – продукт принят как 100%; ** – доля от исходной руды; *** – пирротин, пентландит, халькопирит, пирит; **** – хлорит, биотит, серпентин, гидрогетит.

В немагнитную фракцию переходят «чистые» светлые силикатные минералы и апатит без каких-либо включений темноцветных (рудных и нерудных) минералов [4]. Указанную иерархию минеральных ассоциаций по магнитным свойствам иллюстрируют величины извлечения различных минералов в слабомагнитную (ильменитовую) фракцию – 66-99,9 %. Так, свободный ильменит практически полностью переходит в сильномагнитную 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.

В результате анализа проведенных исследований была разработана технология обогащения титаномагнетитовой руды Кропивнянского месторождения, топология которой имеет сложную структуру, так как состоит из четырех функциональных блоков. В первом технологическом блоке предусмотрено магнитное обогащение руды крупностью 16-0 мм сухим методом в сильном поле, что позволит решить задачу уменьшения количества материала, подаваемого на сушку в конце технологической схемы (рис. 1). Второй третий и четвертый технологические блоки предусматривают выделение трех концентратов (титаномагнетитового, ильменитового, апатитового) и взаимосвязаны между собой.



Рис. 1. Схема подготовки руды к обогащению

Измельчение сырья предусматривается осуществлять в одну стадию до крупности 0,2-0 мм в мельнице, работающей в замкнутом цикле с классификацией в классификаторе с непогруженной спиралью. Для снижения переизмельчения и последующих потерь при магнитном обогащении ильменита схема предусматривает выделение готового по крупности материала в питании мельниц II стадии и величину циркулирующей нагрузки около 100% от массы исходного питания. С учетом большей плотности ильменита и титаномагнетита ($4,7 \text{ т/м}^3$) по сравнению с плотностью силикатных породных минералов ($2,7-3 \text{ т/м}^3$) для снижения переизмельчения тяжелых рудных минералов предусматривается ситовая классификация с учетом размера зерна (тонкое грохочение)(рис. 2,3).

Получение ванадийсодержащих титаномагнетитовых концентратов предполагается с помощью магнитной сепарации в слабом поле (рис.2), и далее немагнитная фракция подается на магнитную сепарацию в сильном поле. Черновой ильменитовый концентрат направляется на сушку, и затем на электростатическое обогащение (рис.3). Для получения кондиционного ильменитового концентрата и рекомендуется его электростатическое обогащение.

Титаномагнетитовый концентрат представлен на 21,96-22,8% – TiO_2 , 52,67-52,8% – $\text{Fe}_{\text{общ}}$. Следует отметить, что содержание V_2O_5 в продукте – 0,503-0,9 %. Полуколичественным спектральным анализом в концентрате установлено наличие скандия (0,0035%), цинка (0,02%), кобальта (0,015%), свинца (0,0001%), никеля (0,005), хрома (0,005%) и меди (0,010%). Основным минералом концентрата

та является титаномагнетит (магнетит с тонкой сеткой ульвошпинели, реже мелкими вростками ильменита), содержание которого колеблется от 94,4 об. % до 96,8 %. Как примеси в его состав входят сульфиды и пироксен (от 0,9 до 1,1 об.%). Количество ильменита (1,3%), а апатита, оливина, плагиоклаза и других не превышает 0,3% каждого.

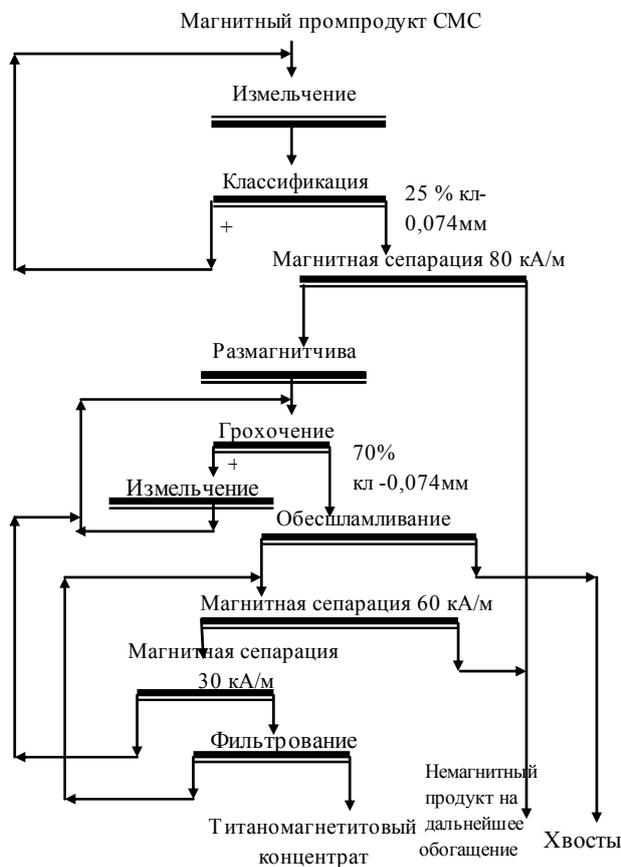


Рис. 2. Технологический блок получения титаномагнетитового концентрата



Рис. 3. Технологический блок получения ильменитового концентрата

Как показал химический анализ, массовая доля TiO_2 в ильменитовом концентрате составила 47,8-48,2%, $Fe_{общ}$ – 38,8-37,8%, V_2O_5 – 0,153-0,239%, P_2O_5 – 0,3-0,32%, SiO_2 – 1,3%. Минералогический анализ показал колебания значений содержания ильменита в концентрате от 84,3 до 96,4%. Титаномагнетита в нем содержится от 1,9 до 8,2%, пироксена – 0,2-3,9%, оливина – 0,2-3,2%, сульфидов – 0,3-1,9%, апатита – 0,0-0,1%. Данный концентрат соответствует техническим требованиям, предъявляемым к продуктам для металлургического производства титанового шлака и металлического титана, а также для производства титановых пигментов.

Апатитовый концентрат представлен на 38,5-39,84% P_2O_5 и 54,5% CaO . Полуколичественным спектральным анализом в апатитовом концентрате установлено сосредоточение редких земель: иттрия – 0,05%, иттербия – 0,002-0,005%. Апатитовый концентрат представлен апатитом (от 94,3 до 98,2). Как примеси присутствуют плагиоклаз (0,6-2,1%), пироксен (0,9-2,2%), оливин (0,1-1,2%).

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, в результате обоснования элементов топологии технологических схем обогащения руды Кропивнянского месторождения Украины, 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 четыре технологических блока. Технологический блок получения титаномагнетитовых концентратов включает два блока: блок сухой магнитной сепарации и блок магнитной технологии в слабом поле с дополнительной стадией измельчения. Блок выделения ильменитового концентрата осуществляется 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 содержит флотационную цепочку получения апатитового концентрата с дополнительным измельчением промпродуктов.

Список использованной литературы

1. Сугак Е.В. Надежность технических систем / Е.В.Сугак, Н.В. Василенко, Г.Г. Назаров. – Красноярск: МГП «РАСКО», 2001.
2. Надежность в технике. Состав и общие требования по надежности: ГОСТ 27.003–90. - М.: Изд-во стандартов, 1990.
3. Олейник М.О. Повышение надежности технологической схемы обогащения титансодержащей руды Кропивенского месторождения / М.О. Олейник, С.В. Михно // Збагачення корисних копалин. – 2012. – Вип. 48(89). – С. 31-37.
4. Олійник Т.А. Закономірності магнітної сепарації титаномагнетиту комплексних руд корінних родовищ України / Т.А. Олійник, О.В. Поліщук, М.О. Олійник // Вісник Криворізького технічного університету. Зб. наук. праць. – 2008. – Вип.21. – С. 66-71.

Надійшла до редакції 27.08.2013

М.О. Олейник

ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ ТОПОЛОГІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ЗБАГАЧЕННЯ ТІТАНВІСНИХ РУД

Наведено елементи топології технологічної схеми збагачення корінних руд Кропивнянського родовища. Встановлено закономірності речовинного складу руд. Запропоновано технологічну схему переробки комплексних титанвісних руд Кропивнянського родовища з отриманням трьох товарних концентратів.

Ключові слова: родовище, збагачення, руда, схема, титан, топологія.

M. Oliinyk

PRINCIPLES OF TITANIUM CONTAINING ORE BENEFICATION PROCESS FLOWSHEET DEVELOPMENT

The paper provides the elements of topology of Kropivenka ores beneficiation flowsheet. The laws of ores material composition are discussed. A process flowsheet for Kropivenka titaniferous ores processing is suggested to produce three trade concentrates.

Keywords: field, beneficiation, ore, diagram, titanium, topology.