

М.О. ОЛЕЙНИК

(Україна, Кривий Ріг, Государственное ВУЗ "Криворожский национальный университет")

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ И ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ "ГЕМАТИТ-ИЛЬМЕНИТ" КОРЕННЫХ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ РУД

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Титан относится к стратегическим видам полезных ископаемых и развитие его сырьевой базы для самообеспечения современного государства остро необходимо.

Сырьевую базу титановой промышленности мира (около 300 месторождений) составляют месторождения трех геолого-промышленных типов:

- современные и древние прибрежно-морские и аллювиальные или комплексные ильменит-рутил-циркониевые россыпи ильменита;
- коренные магматические месторождения ильменит-магнетитовых, ильменит-гематитовых и ильменит-рутиловых руд в габбро-анортозитах и анатаз-перовскит-апатитовых рудах;
- латеритные коры выветривания карбонатитов [1, 2].

Известно около 70 минералов, в которых титан является одной из главных составных частей. Кроме того, в качестве изоморфной примеси он присутствует во многих пороодообразующих минералах – пироксенах, слюдах, гранатах и др. Минералы титана можно разделить на три большие группы:

- простые или свободные окислы (рутил, анатаз, брукит);
- сложные или двойные окислы (ильменит, перовскит);
- сложные по составу минералы титана, в тех или иных количествах содержащие цирконий, редкие земли, тантал, ниобий и т. д. (лампрофиллит, астрофиллит и др.).

Общие мировые ресурсы титана распространены в виде трех главных промышленных минералов – ильменита, лейкоксена и рутила (анатаза). Мировые запасы титана около 2 млрд тонн TiO_2 сосредоточены в 69% в коренных (магматических) месторождениях или 1,38 млрд тонн, в 11,5%, месторождениях коры выветривания или 230 млн тонн и в 19,5% россыпных месторождениях или 390 млн тонн, из них запасов в ильмените – более 82%, в анатазе – около 12%, в рутиле – 6% [1, 2]. Следовательно, основной минералообразующий компонент промышленных титановых руд – ильменит $FeO \cdot TiO_2$ ($FeTiO_3$).

Ильменит стехиометрического состава 52,7% TiO_2 и 47,3% FeO встречается довольно редко. Весьма характерно для ильменита образование структур распада с магнетитом, шпинелью, гематитом. Причем количественные соотношения компонентов, образующих эти структуры, изменяются в широких пределах [3-6]. Поэтому в титаносодержащих рудах очень часто присутствуют полиминеральные включения. Например, полиминеральные включения "гематит-ильменит" харак-

Загальні питання технології збагачення

терны для руд месторождения Абу-Галага (Египет). Следует отметить, что месторождения титана обнаружены в тридцати странах мира, а ильменит-магнетитовые, магнетит-ильменитовые, ильменит-гематитовые и гематит-ильменитовые руды коренных месторождений составляют основу минерально-сырьевой базы титановой промышленности Канады, Китая, Норвегии, Египта [1, 2].

Оценка титанового сырья как товарной продукции определяется в каждом конкретном случае и в значительной мере зависит от природных факторов, характеризующих изучаемое месторождение, а также результатов соответствующих экономических расчетов. Вследствие требования к содержанию оксида титана в концентратах меняются в широких пределах. Более или менее стандартными являются ограничения по количеству вредных примесей. В высокосортных ильменитовых концентратах строго лимитируются содержания P_2O_5 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 , S, V_2O_5 , MnO, CaO, MgO [2]. Из-за наличия в рудах полиминеральных включений, получение высококачественных титаносодержащих концентратов механическими методами весьма затруднительно.

Поэтому разработка технологии обогащения для гематит-ильменитовых руд является актуальной научно-практической задачей.

Анализ исследований и публикаций

Рассмотрим литературные сведения, касающиеся происхождения и свойств полиминеральных включений "гематит-ильменит".

Так, ильменит – минерал подкласса сложных окислов с формулой $FeTiO_3$. Назван минерал по месту его открытия (впервые найден в Ильменских горах на Южном Урале). Состав непостоянен, содержит примеси Mg, Mn, Nb, V, Cr и других. При этом Fe^{2+} может изоморфно замещаться. Кристаллическая структура ильменита подобна структуре гематита, который часто присутствует в ильмените в виде твердого раствора или является продуктом его распада [7].

При повышенных температурах возникают изоморфные смеси ильменита с гематитом. Гематит и ильменит изоструктурны; образуют непрерывный ряд изоморфных смесей при температуре от 950 °C и выше. При более низких температурах эта смесь распадается на гематит и ильменит, формируя пертитовую структуру. Изоморфная смесь гематита и ильменита обладает различной температурой Кюри (температурой превращения ферромагнетика в парамагнетик) — с увеличением содержания ильменита температура превращения повышается (рис.1) [9, 10]. Как показывает диаграмма "гематит-ильменит" содержит в твердом растворе при температуре около 900 °C до 25% $FeTiO_3$, при температуре около 400 °C до 15% $FeTiO_3$, при температуре около 700 °C до 24% $FeTiO_3$.

Изучение генетических особенностей полиминеральных включений "гематит-ильменит" связано с трудностями из-за малой распространенности глубинных парагенезисов с ильменитом, изучение которых, позволяет понять условия его образования и существования в Земле и характер глубинных минералообразующих процессов [8]. Авторы [8] высказывают предположение, что одним из путей образования полиминеральных включений "гематит-ильменит" является реакционное взаимодействие в кимберлитах исходного высокожелезистого материала с кимберлитовым расплавом.

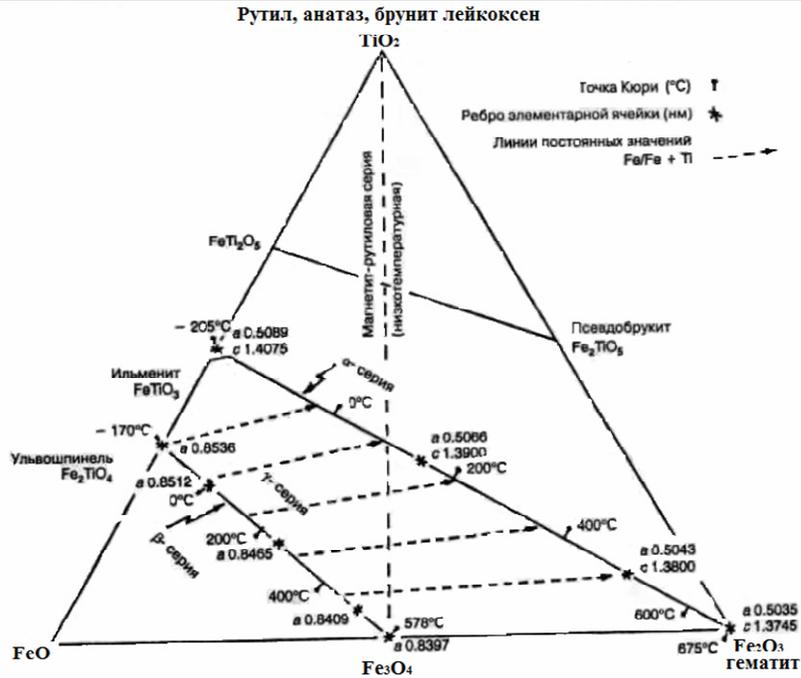


Рис. 1. Диаграмма изоморфного замещения ионов железа и титана в системе Fe-Ti-O

Минеральные фазы Fe_2O_3 (гематит) и FeTiO_3 (ильменит) кристаллизуются в структуре минерального комплекса, где катионы металла образуют гексагональную решетку, занимающий 2/3 от общего объема кристалла. Ильменит антиферромагнитен при температурах ниже 59 К. Гематит близок к ферромагнитному состоянию – ниже 948 К, благодаря обменной связи, перпендикулярной к *Ch*-оси. Ниже перехода 260 К упорядочивания катионов преобразуется таким образом, чтобы соединение катионов располагались вдоль *Ch*-оси. В ильмените – соединение катионов параллельно *Ch*-оси (рис. 2) [11].

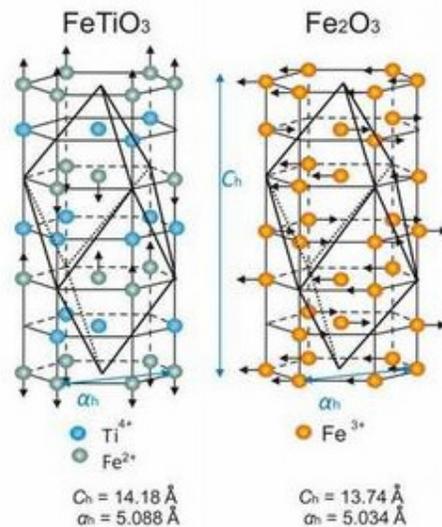


Рис. 2. Иллюстрация гексагональной упорядочения катионов в кристаллической решетке ильменита (слева) и гематита (справа) (Ishikawa 1985)

Загальні питання технології збагачення

Твердые растворы полиминеральных включений обладают сложными магнитными свойствами от ферромагнитных ($x > 0,5$) до антиферромагнитных ($x < 0,5$). Спиновые плоскостные состояния (рис. 2 справа) имеют большие пробелы (2,5-3 эВ), которые могут быть изменены за счет регулирования – конфигурации ионов Fe^{+3} (например, при воздействии высоких температур, при обжиге).

Постановка задачи

Поэтому целью работы явилось изучение вещественного состава гематит-ильменитовый руд, гравитационных, электрических и магнитных свойств полиминеральных включений "гематит-ильмени" в титансодержащих рудах до и после обжига. Эти исследования необходимы для разработки технологии глубокого обогащения гематит-ильменитовых руд, с получением высококачественных титансодержащих концентратов, то есть с минимальным содержанием вредных примесей.

Изложение материала и результаты

Объектом исследований явилась проба титанового сырья коренных руд с размером куска 40-60 мм. Проба представлена обломками нескольких разновидностей пород (в порядке уменьшения) – рудный габбро-перидотит, рудный перидотит и рудный габбро (рис. 3).

Рудный габбро-перидотит – порода темно-серого цвета с незначительным количеством светлых пятен. Структура средне-, крупнозернистая, текстура – однородная, пятнистая, вкрапленная. Состоит, в основном, из рудных минералов (ильменит+гематит), пироксенов и плагиоклазов. Присутствуют также оливин, серпентин, хлорит, сфен, сидерит, халцедон, пирит, халькопирит.



Рис. 3. Штуфные образцы титановой руды:
а – рудный габбро-перидотит; б – рудный перидотит; в – рудный габбро

В отличие от предыдущей разновидности в рудном перидотите отмечается большее количество оливина и отсутствие плагиоклазов, отчего порода имеет зеленоватый оттенок. В рудном габбро количество плагиоклазов возрастает, его значение выше, чем у пироксенов и порода имеет более светлый цвет. В остальном, по набору сопутствующих минералов и структурно-текстурной характеристике, описываемые разновидности близки к рудному габбро-перидотиту.

Загальні питання технології збагачення

Из материала пробы были изготовлены прозрачные и полированные шлифы. Минеральный состав изученного сырья приведен в табл. 1.

Таблица 1

Минеральный состав титановой руды (об.%)	
Минералы	Среднее шлиф+аншлиф
Пироксен	10,2
Плагиоклаз	7,7
Оливин	1,4
Серпентин	1,9
Биотит	1,8
Хлорит	1,2
Карбонат	0,5
Кварц	0,1
Ti-клиногумит	0,2
Цоизит	1,8
Апатит	0,3
Магнетит	2,2
Гидрогетит	0,1
Актинолит	5,1
Ильменит	40,1
Гематит	17,7
Пирит	6,2
Пирротин	0,2
Халькопирит	1,3
Сумма	100,0

Последующее изучение минерального состава руды проводилось на пробах "протолочках", отобранных из дробленого материала титанового сырья. Титановая руда была подроблена в щековой дробилке и классифицирована на классы крупности +5,0, -5,0+2,0, -2,0+1,0, -1,0+0,5 и -0,5+0 мм. Гранулометрический состав исходной руды, дробленной до 5-0 мм представлен на рис.4.

Уравнение крупности подчиняется линейному закону распределения материала $R^+ = -18,592d + 100$, с достоверностью аппроксимации 0,982. Где R^+ – суммарный выход верхнего класса крупности, d – крупность материала.

В дробленном материале руды выделялись следующие фазы – ильменит+гематит, пироксен+оливин, плагиоклаз, серпентин, биотит, сульфиды, прочие. Для каждой фазы среди отобранных частичек были выделены "чистые" обломки и сростки. Последние были разделены на две группы: "богатые" (сростки, сложенные более чем на 75% одним минералом и сростки, сложенные минералом на 50-75%) и "бедные" сростки (сростки, которые содержат минерал в количестве 25-50% и сростки, которые содержат минерал в количестве до 25%).

Загальні питання технології збагачення

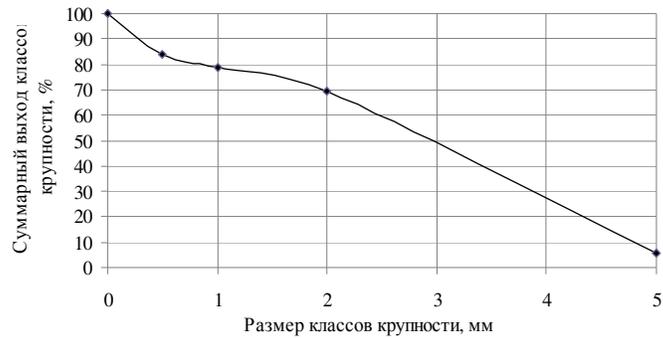


Рис. 4. Гранулометрическая характеристика исходной руды, дробленой до 5-0 мм

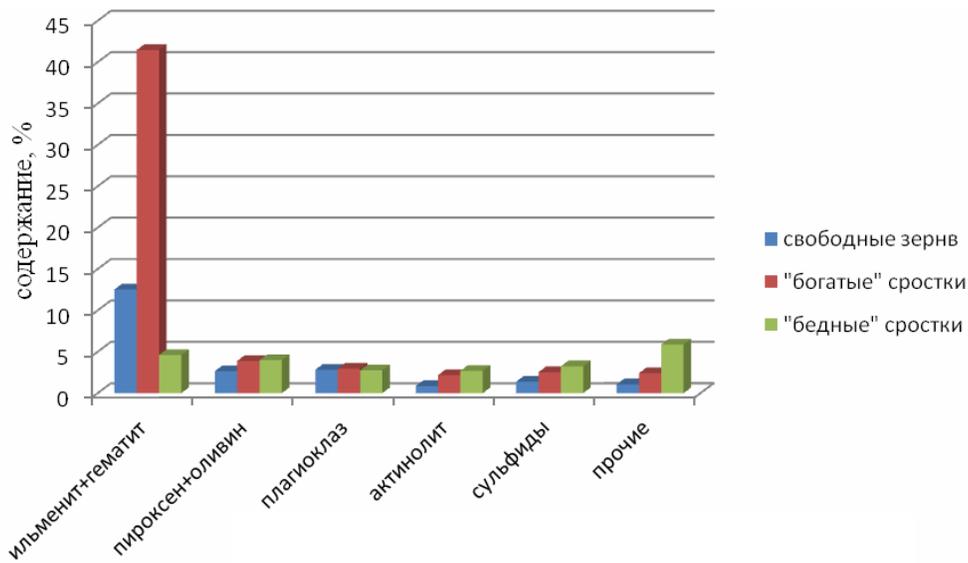


Рис. 5. Минеральный состав титаносодержащей руды ("по протолочкам")

* прочие (серпентин, биотит, хлорит, карбонат, кварц, Ті-клиногумит, цоизит, апатит, магнетит, гидрогетит)

Анализ продуктов гранулометрического состава показал, что в материале крупностью $-5,0+2,0$ мм появляются очень "богатые" сростки нерудных минералов (рис. 5, 6).

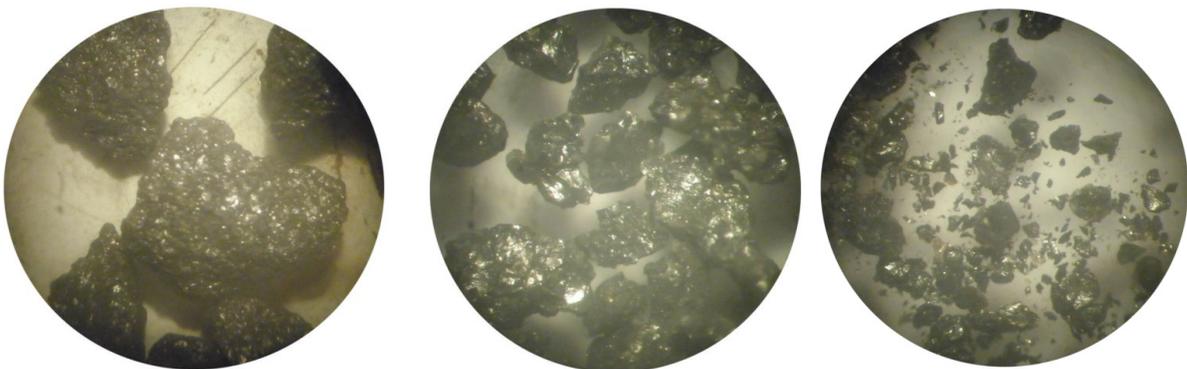


Рис. 6. Дробленный материал титановой руды

Загальні питання технології збагачення

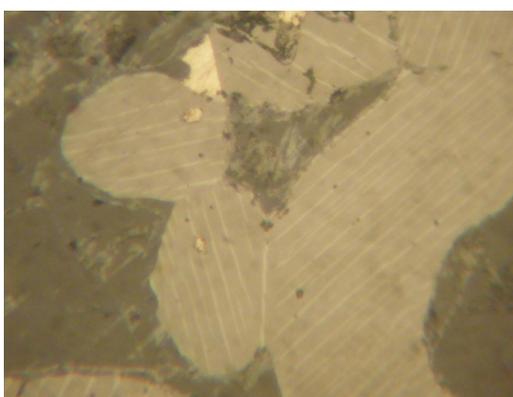
В нижних классах крупности их количество возрастает и в классе $-1+0,5$ мм появляются "свободные" обломки нерудных минералов. В нижнем классе крупности ($-0,5+0$ мм) материал практически раскрыт, более 70% минеральных зерен представлено "свободными" обломками.

После подсчета количества чистых обломков и сростков, с учетом доли каждого минерала в сростках, а также данных о количестве минералов, выявленных в шлифах и аншлифах, был проведен окончательный расчет минерального состава руды (табл. 2).

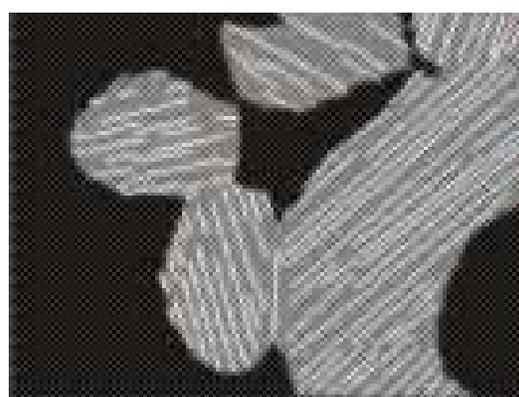
В результате изучения шлифов и аншлифов установлено, что полиминеральные включения "гематит-ильменит" образуют индивиды твердой смеси в соотношении три к одному. Соотношение установлено с помощью одной из прикладных компьютерных программ. С этой целью цифровое изображение полированной поверхности титановой руды месторождения было преобразовано в адаптационную трехцветную графическую модель – комбинацию черного, белого и серого цветов (рис. 7).

Таблица 2

Минерал	Содержание минерала, об. %		
	в шлифах и аншлифах	в "протолочке"	среднее по пробе
Ильменит+гематит	57,8	58,6	58,2
Пироксен+оливин	11,5	10,5	11,0
Плагиоклаз	7,8	8,6	8,2
Актинолит	5,1	5,7	5,4
Сульфиды	7,7	7,2	7,5
Прочие	10,1	9,4	9,8
Итого	100,0	100,0	100,0



а



б

Рис. 7. Фотография полированной поверхности препарата, изготовленного из титановой руды (а) и ее адаптационная модель (б)

Возможности прикладной программы позволили определить площади от-

Загальні питання технології збагачення

дельных цветов. По принятой легенде черный цвет соответствовал нерудным минералам, серый – ильменитовым зернам, белый – гематитовым пластинам в индивидах ильменита. Незначительными включениями сульфидов в ильмените пренебрегли. После пропорциональных пересчетов было установлено, что в ильмените содержится 31,53 об.% гематита.

Индивиды твердо-растворной смеси морфологически подчиняются форме индивидов ильменита, так как именно этот минерал является носителем механической примеси гематита. Для большинства срезов зерен ильменита, наблюдаемых в плоскости полированного шлифа, характерны изометрические и удлиненные формы с округлыми очертаниями. Иногда встречаются удлиненные загнутые в виде литеры "С" срезы. Анализ сечений индивидов ильменита показывает, что его зерна имеют толсто-таблитчатый облик. Размер ильменитовых индивидов соответствует интервалу значений 0,1-1,2 мм. Очень часто зерна ильменита образуют секторальные агрегаты (рис. 8а). Линейный размер сечений агрегатов может достигать значения в 5,1 мм.

Механические включения гематита в ильмените часто имеют тонкопластинчатую форму. Ширина удлиненных срезов гематита составляет в среднем 0,0065 мм. Иногда включения гематита заливообразные гнездовидные формы (рис. 8б).

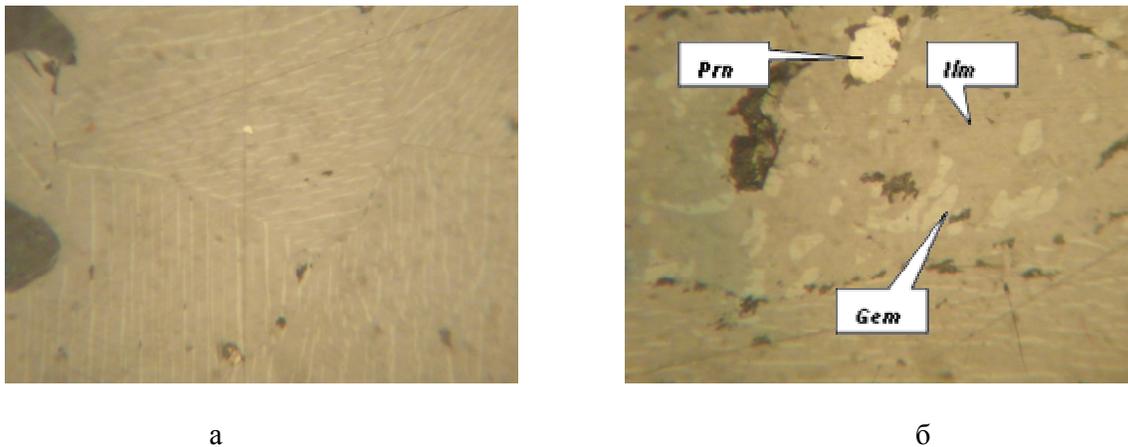


Рис. 8. Рудные минералы титановой руды. Отраженный свет. Увеличение 300^X:
Ilm – ильменит; *Prn* – пирит; *Gem* – гематит

Кроме описанных выше полиминеральных включений для исследуемой пробы характерно наличие следующих нерудных минералов (рис. 9). *Пироксен*. Является главным нерудным минералом (табл. 1, 2). Встречается в виде отдельных ксеноморфных, реже гипидиоморфных зерен размером от 0,3 до 5,3, в среднем 2,7 мм, а также в виде гнездовидных скоплений сложной формы. Для минерала характерны тесные срастания с оливином. *Оливин* встречается в виде отдельных ксеноморфных зерен. Преобладающее значение их размера лежит в интервале 0,2-3,7 мм; среднее значение – 2,4 мм. Пространственно минерал связан с пироксеном, серпентином и ильменитом. *Плагиоклаз* – второй по распространенности нерудный минерал. Образует линзоподобные и гнездовидные

Загальні питання технології збагачення

включення в рудній масі. Розмір окремих зерен змінюється від 0,9 до 5,4, в середньому 3,3 мм. Розмір агрегатних включень досягає 4,7 мм. *Актиноліт*. Встрічається в вигляді метелко-подібних агрегатів, складених тонкоігольчатими індивідами. Довжина "іголок" до 1,1 мм, товщина – 0,003 мм. Мінерал просторово пов'язаний з піроксеном і плагіоклазом.

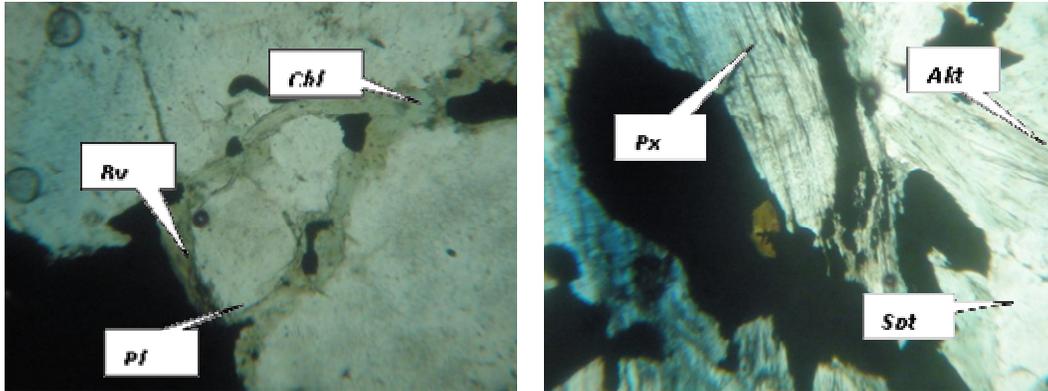


Рис. 9. Нерудні мінерали титанової руди.

Проходящий свет. Увеличение 300^x:

Bt – биотит; *Chl* – хлорит; *Pl* – плагиоклаз; *Akt* – актинолит;
Px – піроксен; *Spt* – серпентин

Сульфиди. Серед мінералів в дослідженій руді класу "Сульфиди і їх аналоги" установлені пірротин, пірит і халькопірит (рис.10). Пірит є головним сульфідом. Встрічається в вигляді удлинених, округлих каплевидних включень в рудній, рідше силікатній масі. Розмір включень представлений, в основному, інтервалом значень 0,065-0,196 мм, в середньому 0,117 мм. Решта сульфиди морфологічно і гранулометрично близькі до піриту.

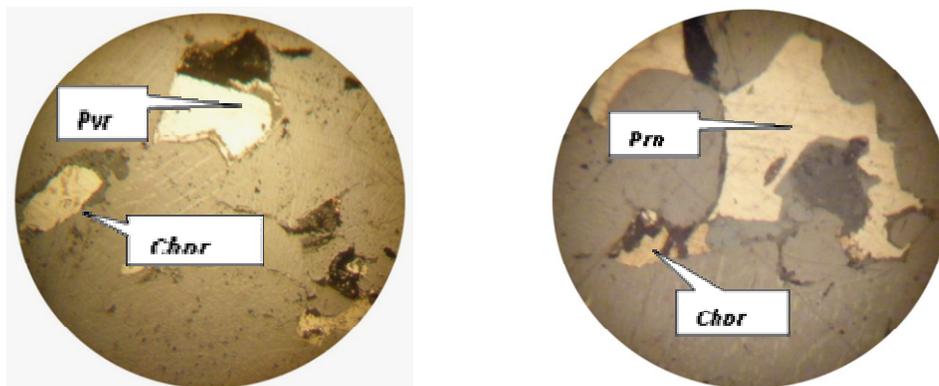


Рис. 10. Сульфідні мінерали титанової руди.

Отраженный свет. Увеличение 80^x:

Pyr – пірит; *Chpr* – халькопірит; *Prn* – пірротин

Прочие (рис. 11). Більшість мінералів цієї категорії приурочені до нерудної складової досліджуваного сировини. І в силу їх незначительної распростра-

Загальні питання технології збагачення

ненности вплиять на її переробку не будуть. Ісключення складе магнетит, який разом з пирротином, складають сильномагнітну фазу руди. Магнетит зустрічається в вигляді окремих зерен, часто в сростанні з пирротином. Часто вони, утворюють єдину застигшу каплю залізо-сульфідного складу. Значення розміру зерен магнетита лежить в межах 0,01-0,165 мм, в середньому – 0,072 мм.

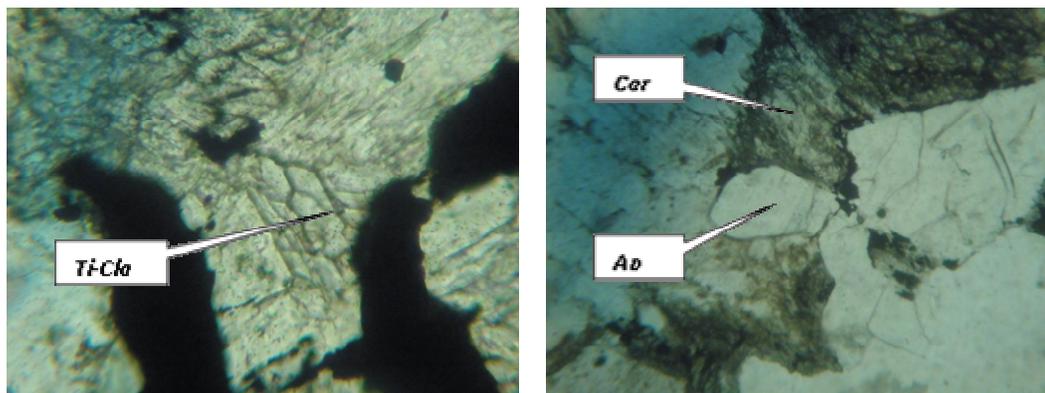


Рис. 11. Прочіє мінерали титанової руди. Проходящий світ. Увеличение 300^X:
Ti-Clg – титанокліногуміт; Car – карбонат; Ap – апатит

В результаті вивчення мінералогічного складу вихідних проб встановлено, що для проби характерно високе вміщення рудної компоненти. Вміщення рудної компоненти (гематит-ильменіта) в пробі складало 58,5%. Силікати в пробі представлені в вигляді оливина, піроксена і актиноліта – 16,4%. Вміщення плагіоклаза – 8,2%. Особливо слід відзначити високе вміщення мінералів-сульфідів (пірит, халькопірит, пирротин) – 7,5%, значительну ступінь серпентинізації порід і рідке проявлення халцедона і карбоната (сидерит). По тому однією з основних завдань при механічному збагаченні є максимальне видалення сульфідних мінералів, що можливо двома методами: перший – магнітним фракціонуванням, то є розділенням зерен по ступеню магнітної вразливості, другою – флотацией.

При дослідженні хімічного складу проби руди, виявлено багато число забруднюючих домішок. Перше все, це кремній, сірка, фосфор, магній, хром (табл. 3).

Таблиця 3

Хімічний склад проби титаносодержащої руди

Компонент										
TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	MgO	P ₂ O ₅	SiO ₂	ZrO ₂
Содержание, масс. доля, %										
32,3	18,6	26,8	3,63	0,40	0,04	0,30	3,8	0,14	10,84	0,04
Компонент										
Nb ₂ O ₅	CaO	S	CuO	ZnO	NiO	Na ₂ O	K ₂ O	C	CoO	п.п.п
Содержание, масс. доля, %										
менее 0,01	0,35	1,22	0,10	0,012	0,10	1,0	0,10	0,34	0,018	0,40

Загальні питання технології збагачення

Для раскрытия минеральных сростков руду измельчали до крупности 0,5-0 мм в две стадии с использованием тонкого грохочения (рис 12).

Минералы, слагающие сырье слабоконтрастные в магнитном поле с низкой напряженностью. Так, полиминеральные включения "гематит-ильменит имеют x в пределах $0,5 < x < 0,9$, также как силикатные и сульфидные минералы. Поэтому разделение минералов необожженной руды магнитным способом весьма проблематично. Результаты магнитного анализа исходной руды полностью подтверждают это утверждение (табл. 4).

Для повышения качества концентрата необходимо решить проблему снижения содержания плагиоклаза и силикатов и его сростков в концентрате, что возможно за счет использования гравитационного обогащения.

Измельченный продукт направляли на гравитационное обогащение (рис. 12). В результате из руды с массовой долей оксида титана 32,3% получен гравитационный "черновой" концентрат с массовой долей оксида титана 34,8%, представленный в основном полиминеральными включениями "гематит-ильменит" (76,67%). Засоряющими минералами в гравитационном концентрате явились оливины и пироксены (13,81%), сульфиды (2,53). Плагиоклазы и актинолит в сумме составили 1,87%. На долю прочих минералов приходится 5,13%.

Таблица 4

Продукт		Выход, %		Минеральный состав (об.%) продуктов магнитной сепарации исходной руды																	
				ильменит+гематит			пироксен+оливин			плагиоклаз			актинолит			сульфиды			прочие*		
				свободные	сростки		свободные	сростки		свободные	сростки		свободные	сростки		свободные	сростки		свободные	сростки	
	богатые	бедные		богатые	бедные		богатые	бедные		богатые	бедные		богатые	бедные		богатые	бедные		богатые	бедные	
Магнитный при 80 мТл	0,89	3,7 5,6	0,8	1,1	22,1 38,2	12,3	0,7	4,2 8,3	3,4	0,3	2,1 3,4	0,0	2,7	2,8 7,1	2,4	4,9	27,8 37,5	1,9	6,8		
Магнитный при 100 мТл	1,94	12,1 15,8	1,2	3,3	27,9 37,2	5,7	1,4	10,7 12,7	0,6	0,0	3,7 6,0	1,8	0,8	2,2 4,0	0,7	3,1	18,1 24,3	2,9	3,8		
Магнитный при 500 мТл	94,17	52,1 61,6	5,7	2,9	8,7 13,1	4,3	0,8	6,8 8,1	0,9	0,0	4,8 5,5	0,1	0,7	5,4 6,2	0,1	1,2	4,1 5,5	1,3	0,1		
Немагнитный	3,00	17,9 20,5	1,3	0,4	8,1 11,9	3,9	0,1	24,4 29,9	4,3	0,1	5,8 7,7	1,7	0,1	12,9 17,7	3,8	2,7	9,9 12,3	1,7	0,9		
В целом по пробе		58,1			14,3			8,4			5,7			7,1			6,4				

*– серпентин, биотит, хлорит, карбонат, кварц, Ti-клиногумит, цоизит, апатит, магнетит, гидрогетит.

Очистить гравитационный концентрат от силикатных минералов оливина и пироксена возможно с помощью электростатической сепарации. В результате в концентрате механического обогащения массовая доля оксида титана составляет 37,6%, а количество полиминеральных включений "гематит-ильменит" – 95%. Основная примесь в концентрате – это сульфиды.

В связи с тем, что в рудные индивиды представлены не чистым ильмени-

Збагачення корисних копалин, 2014. – Вип. 56(97)

Загальні питання технології збагачення

том, а твердой субстанцией гематит-ильменит, в технологической схеме переработки руд для удаления остаточных сульфидов необходимо применение окислительного обжига, а для перевода гематита в сильномагнитную форму – восстановительного обжига. После высокотемпературного передела необходимо использование высокоинтенсивной магнитной сепарации. Для определения ее сепарационных характеристик в дальнейшем предусматривается проведение дополнительных исследований.

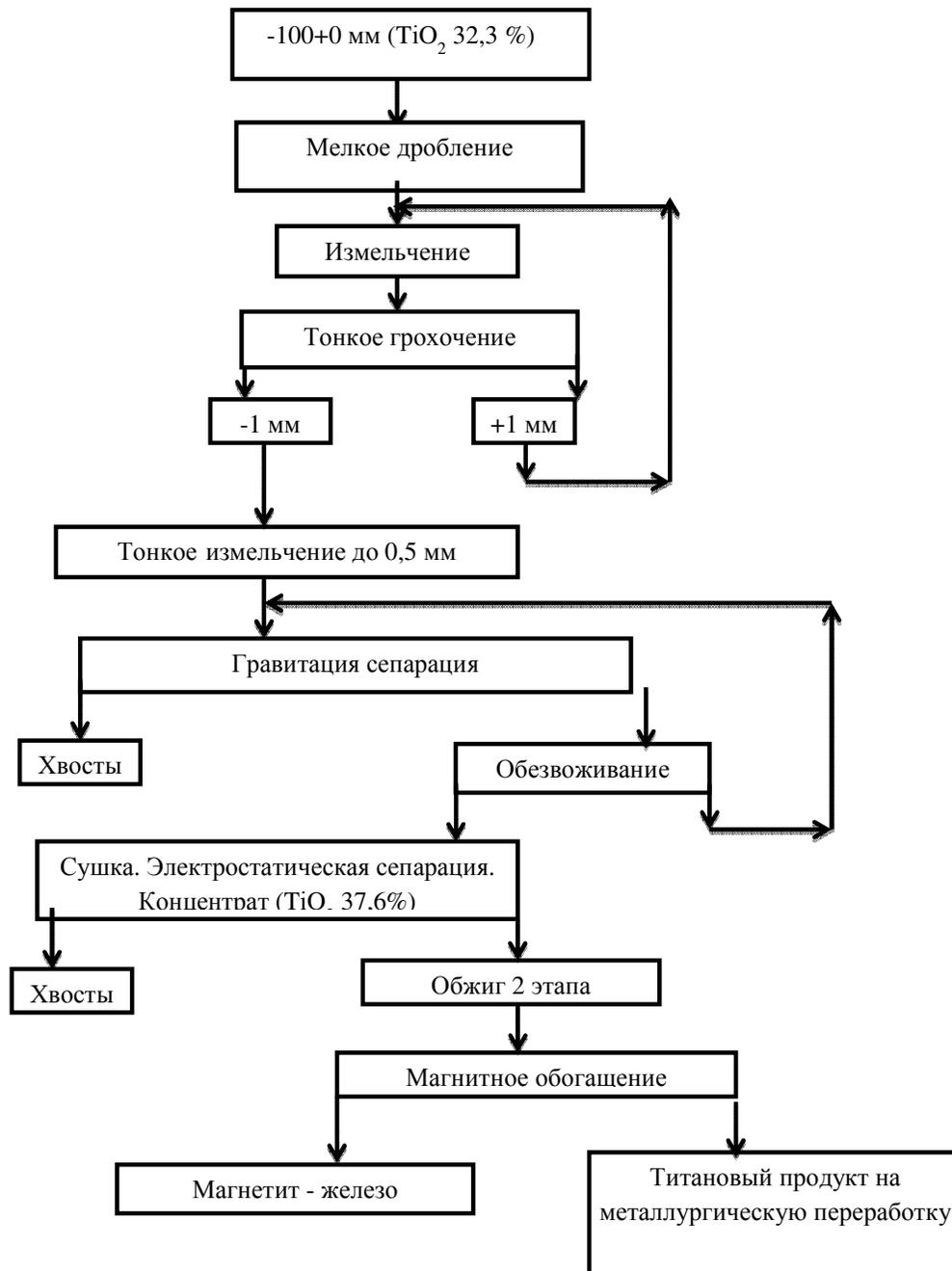


Рис. 12. Принципиальная схема обогащения гематит-ильменитовых руд коренных месторождений титана

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, выполненные исследования показали, что основной титаноносный компонент сырья – полиминеральные включения "гематит-ильменит". В результате механического обогащения удалены основные загрязняющие минералы – силикаты. Массовая доля оксида титана в концентрате повышена с 32,3 до 37,6%, а количество рудоносных минералов с 58,2 до 95%.

Тонкие пластинчатые включения гематита неотделимы от ильменитовой матрицы механическими методами обогащения. Поэтому целесообразно проводить предварительный обжиг с получением королька элементарного железа.

Сырье обладает повышенной сульфидоносностью. Часть сульфидов может быть удалена вместе с непроводниками при электрической сепарации. Однако основная их часть будет удалена при обжиге.

Схема дальнейших исследований по обогащению титаносодержащих руд после обжига будет включать комбинацию различных методов обогащения, которые обеспечивают наиболее полное извлечение титана в концентрат: гравитационное, металлургическое и магнитного обогащения с целью получения титанового концентрата и чугуна. При проведении исследований будут использоваться новые методики, и применяться комплекс современных химических и физических методов анализа.

Список литературы

1. Развитие технологий добычи, обогащения и переработки титанового сырья в мире и Украине. / Т.А. Олейник, Т.П. Гурьянова, Г.А. Колобов и др. // *Металургія: Наук. праці Запорізької державної інженерної академії.* – 2010. – Вип. 22. – С. 46–62.
2. Расширение сырьевой базы предприятий титановой промышленности на основе комплексных технологий обогащения железо-титановых руд и переработки титаносодержащих концентратов / А.Н. Пампушко, В.В. Тэлин, Т.П. Гурьянова и др. // *Тр. междунар. конф. "Тi-2013 в СНГ" Украина.* Донецк – 26-29 мая 2013 года – С. 65-74
3. Харитонов В.М. Типоморфізм ільменіту фосфор-титанових руд Носачівського родовища Черкаської області України // *Матеріали Міжнар. конф. "Форум гірників – 2010",* 21-23 жовтня 2010. – С. 108-117.
4. Харитонов В.М. Хімічний склад ільменіту фосфор-титанових руд деяких родовищ України // *Матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів",* 24-26 листопада 2010. – С. 24-26.
5. Харитонов В.М, Олійник Т.А. Вторинне опробування корінних фосфор-титанових руд // *Геолого-мінералогічний вісник.* – 2012. – №27. – С. 37-51.
6. Харитонов В.М. Номенклатура головних титанових мінералів Кропивенського родовища України. // *Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. "Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості",* 22-25 травня 2012р., м Кривий Ріг. – Кривий Ріг: вид-во ДВНЗ "КНУ". – С. 44-47.
7. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. – М.: КДУ, 2008. – 258 с.
8. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т. Ильменит из кимберлитов. – М.: МГУ, 1984. – 240 с.
9. M. Charilaou, J.F. Luffler, A.U. Gehring, 'Fe–Ti–O exchange at high temperature and thermal hysteresis', *Geophys. J. Int.* 185 (2011) 647 – 652 p.
10. Gunther Kletetschkaa, Peter J. Wasilewski, Patrick T. Taylor. The role of hematite–ilmenite solid solution in the production of magnetic anomalies in ground– and satellite-based data/

Загальні питання технології збагачення

Received 5 July 2000; accepted 24 August 2001 // Tectonophysics 347. – 2002. – P. 167-177. – [http:// www.journals.elsevier.com/tectonophysics](http://www.journals.elsevier.com/tectonophysics)

11. M. Charilaou Magnetic and structural properties of hemo-ilmenite solid solutions// <http://www.metphys.mat.ethz.ch>

© Олейник М.О., 2014

*Надійшла до редколегії 24.02.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник*