

УДК 622.73

**Л.Ж. ГОРОБЕЦ**, д-р техн. наук,

**Т.Ю. МАШКОВА**

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

### **ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛОВ ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ УКРАИНЫ**

*Постановка проблемы.* Освоение отечественной сырьевой базы для производства огнеупоров возможно на основе талько-магнезитов Правдинское месторождения Днепропетровской области, открытого и детально разведанного Новомосковской комплексной геолого-разведочной экспедицией (КГРЭ) с запасами порядка 105 млн т. сырья [1].

Изучение минерального состава и особенностей строения исследуемого сырья показало, что породы сильно оталькованы; тонковкрапленные минералы находятся в тесной ассоциации друг с другом, причем, преобладает размер зерен магнезита 40-50 мкм, талька 5-10 мкм. Талько-магнезитовые породы содержат тальк, магнезит (брейнерит), в небольших количествах серпентин, магнетит, хромит, хлорит, доломитизированный магнезит и доломит. Содержание магнезита находится в пределах 45-55%. Значительная часть магнетита представлена в виде эмульсионных включений в зернах основных минералов.

В магнезиально-силикатном сырье, применяемом для производства форстеритовых огнеупоров, не регламентируется содержание окислов железа. Однако значительное их содержание нежелательно по той причине, что замещение ионов магния ионом двухвалентного железа приводит к ослаблению связи в кристаллической решетке магнезита. Это проявляется в понижении температуры плавления материала. Кроме того, смена валентности железа в условиях переменной газовой атмосферы сопровождается объемными изменениями с возможным разрыхлением кирпича. Фактор наличия доломитизации и примесей железа в сырье обусловил на стадии предварительного исследования традиционными методами измельчения и флотации получение низкокачественного магнезитового концентрата [2].

В течение ряда лет в Национальном горном университете успешно освоено применение новых технологий и техники рудоподготовки для избирательного раскрытия тонковкрапленных минералов труднообогатимого минерального сырья [3-7]. Например, согласно опытным данным газоструйного измельчения различных тонкозернистых руд при крупности продукта ~ 20 мкм сродки раскрываются практически полностью; при крупности частиц ~ 40 мкм сродков содержится менее 3-5%. В этом способе измельчения совмещено механическое действие (скорость соударений – сотни метров в секунду) и термической обработки (до 600 °С), что снижает прочностные свойства при внезапном нагреве, усиливает эффекты разрушения и диспергирования измельчаемых частиц.

Для исследуемого сырья следует отметить сравнительно с магнезитом легкую измельчаемость талька (твердость 1 ед. против 3-3,5 ед. по шкале Мооса для магнезита). Полагаем, что факторы различий основных разделяемых минералов в плотности, строении, крупности и измельчаемости составят основу для избирательности раскрытия сростков и отдельного осаждения магнезитового и талькового продуктов в газоструйной установке.

Важной особенностью газоструйной установки является возможность регулирования аэродинамического режима работы всех узлов газоструйной установки: помольной камеры, отбойно-вихревого классификатора, осадительных циклонов, вентилятора, что позволяет изменять дисперсность, гранулометрический состав и соотношение минералов в измельченных продуктах.

*Целью данной работы* является обоснование рациональных режимных параметров струйного измельчения огнеупорного сырья для эффективного раскрытия и разделения талька и магнезита, обеспечивающего требуемые показатели качества магнезиального концентрата.

*Основные результаты исследований.*

Промышленные испытания газоструйного измельчения были проведены в условиях Вольногорского горно-металлургического комбината при следующих начальных параметрах энергоносителя: давление в камере сгорания 0,2-0,25 МПа, температура 500-600 °С. Исходная проба включала керновый материал скважин, расположенных в контуре утвержденных запасов месторождения. Перед измельчением керны дробили до заданной крупности в молотковой дробилке. Ситовый и химический состав дробленых талько-магнезитов приведен в табл. 1. Оценка качества измельченных продуктов проводилась по величине потерь при прокаливании (п.п.п.), характеризующих содержание магнезита, и по содержанию нерастворимого остатка (или SiO<sub>2</sub>) характеризующего наличие талька в пробе.

*Таблица 1*

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание, %		
		SiO <sub>2</sub>	Fe	п.п.п.
+10	2,3	25,1	5,4	29,3
5-10	5,3	25,3	5,36	29,0
2,5-5	7,7	25,1	5,48	28,9
1,6-2,5	10,0	23,4	5,56	30,1
1,0-1,6	10,8	22,4	5,7	30,5
0,4-1,0	17,2	23,7	5,7	30,9
0,25-0,4	6,7	22,3	6,3	31,5
0,1-0,4	8,6	20,6	6,8	30,9
0,074-0,1	2,0	13,6	7,5	36,8
0,05-0,07	6,4	20,2	6,5	32,5
-0,05	23,0	36,0	4,4	19,1
Итого	100,0	25,9	5,5	28,1

## Підготовчі процеси збагачення

Тонина измельченного продукта регулировалась скоростью вращения ротора отбойно-вихревого классификатора, а также изменением аэродинамического режима всей установки. Дисперсность измельченных проб оценивалась удельной поверхностью, измеряемой на приборе ПСХ-4, и составляла диапазон 3-10 тыс.  $\text{см}^2/\text{г}$  при остатке на сите с отверстиями 0,074 мм от 0 до 10%. При производительности мельницы 1,8-1,9 т/ч удельный расход воздуха составил 1160-1300  $\text{нм}^3/\text{т}$  продукта, природного газа 16-22  $\text{нм}^3/\text{т}$ . Эффективность пылеулавливания в циклонах составляла до 95,6% [2, 3].

На рис. 1 показана зависимость крупности измельченного продукта от режима классификации, на рис. 2 иллюстрируется изменение удельной поверхности измельченного сырья в зависимости от остатка на контрольном сите.

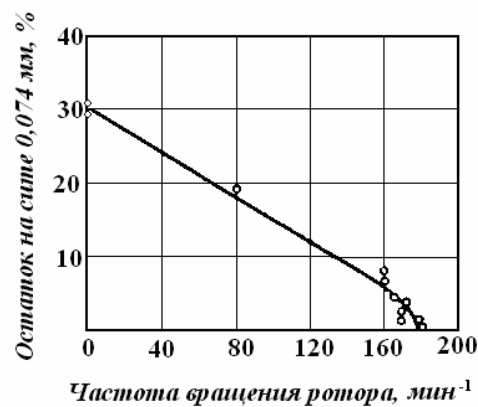


Рис. 1. Влияние частоты вращения ротора классификатора на крупность измельченного продукта

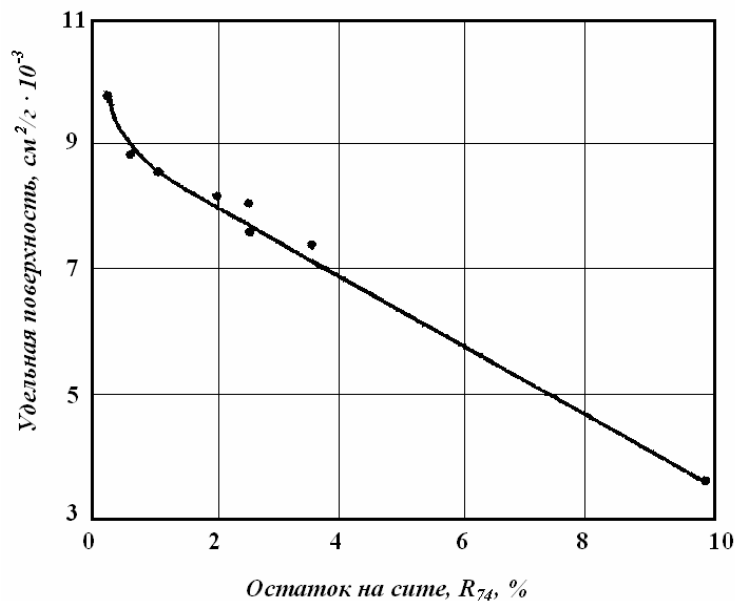


Рис. 2. Изменение удельной поверхности измельченного сырья в зависимости от остатка на контрольном сите

## Підготовчі процеси збагачення

В табл. 2 приведенные данные седиментационного и химического анализов измельченных талько-магнезитов с остатком на сите 0,074 мм на уровнях 1,0-2,4%.

Таблица 2

Класс крупности, мм	Остаток на сите 0,074 мм, %						
	1,0			2,4			
	Выход, %	Содержание, %		Выход, %	Содержание, %		
		SiO <sub>2</sub>	п. п. п.		SiO <sub>2</sub>	п. п. п.	Fe
+74	1,0	6,49	39,12	2,4	9,8	38,9	8,6
40-74	17,9			13,3			
20-40	40,0	15,29	35,85	30,5	10,65	38,3	7,5
10-20	23,3	34,45	21,8	20,1	24,4	27,6	4,1
5-10	15,6	44,36	14,88	17,7	38,8	17,0	3,5
-5	2,2			16,0			
Итого	100,0	23,08	29,13	100,0	24,54	27,85	5,54

Данные таблицы 2 указывают на тенденцию преимущественного накопления минералов талька (п.п.п = 15-22%) в тонких классах (менее 20 мкм) продукта. Видно, что готовый продукт представлен на 70-80% классом 10-74 мкм, причем, раскрытые зерна магнезита не переизмельчаются, что подтверждает низкое содержание SiO<sub>2</sub> (6-15%) в классе 74-20 мкм сравнительно с классами -20 мкм (до 44%) и повышенная концентрация магнезита (п.п.п. = 36-39%) в классе крупнее 20 мкм. По данным седиментационных анализов продуктов измельчения установлена характерная крупность раскрытых зерен магнезита – 38-47 мкм и талька – 9-12 мкм.

Распределение этих минералов на различных уровнях крупности подтверждает возможность выделения этих минералов в отдельные продукты (магнезитовый и тальковый) на выходе из помольной системы. Установлено, что выносимая из мельницы отработавшим энергоносителем пыль микронных размеров соответствует по содержанию (39-44% SiO<sub>2</sub>) грубому тальковому концентрату. В дальнейшем пылевой продукт улавливается в скруббере при очистке газов перед выбросом в атмосферу и в виде пульпы может быть направлен в перечистную тальковую флотацию.

Исследование показало, что за счет уноса отходящими газами тальковых микрочастиц (в количестве 4-24%) содержание SiO<sub>2</sub> в измельченном продукте уменьшается на 0,4-3%. Достигнутое при испытаниях снижение содержания SiO<sub>2</sub> в магнезитовом продукте по сравнению с исходным материалом составило 10-11%, что обусловило в последующем процессе обогащения улучшение качества магнезитового концентрата.

На рис. 2 приведен вариант газоструйной установки, реализующей совмещенные процессы измельчения и пневматической сепарации талько-магнезитового сырья. Установка включает следующие составляющие: бункер для исходного сырья, трубы питания и возврата, разгонные устройства, помольная камера, классификатор, циклоны для осаждения магнезитового и таль-

**Збагачення корисних копалин, 2017. – Вип. 66(107)**

## Підготовчі процеси збагачення

кового продуктів, вытяжное устройство для удаления отработавших газов, устройство для подогрева сжатого воздуха.

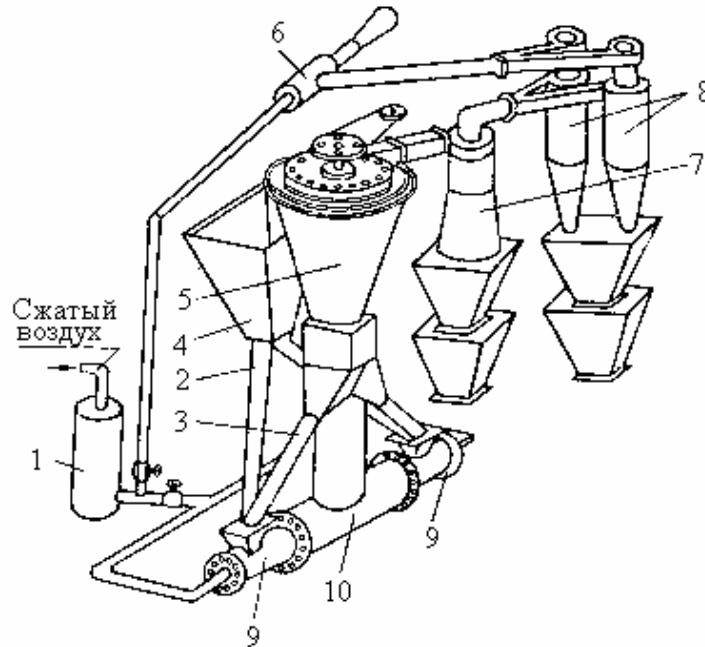


Рис. 2. Схема газоструйной установки:

- 1 – устройство для подогрева сжатого воздуха; 2 – труба питания;
- 3 – труба возврата; 4 – бункер; 5 – классификатор; 6 – вытяжное устройство;
- 7 и 8 – циклоны для осаждения соответственно магнетитового и талькового продуктов;
- 9 – разгонное устройство; 10 – помольная камера

На рис. 3 показана взаимосвязь показателей совмещенного измельчения и пневматической сепарации талько-магнетитов в струйной мельнице.



Рис. 3. Связь выхода и качества продуктов измельчения и пневмосепарации:

$$1 - \gamma = f(SiO_2); 2 - \gamma = f(\text{п.п.п})$$

В табл. 3 приведены данные седиментационных анализов полученных продуктов – магнезитового, талькового, осажденного в отдельных циклонах, и пыли, уловленной в тканевом фильтре.

*Таблица 3*

Класс крупности, мм	Магнезитовый продукт		Тальковый продукт		Пыль	
	Выход, %	п. п. п., %	Выход, %	п. п. п., %	Выход, %	п. п. п., %
+0,074	2,5	35,3	–	–	–	–
0,04-0,074	16,2	41,6	5,2	43,0	2,4	42,2
0,02-0,04	50,8	39,6	34,5	37,4	9,6	39,5
0,01-0,02	1,6	29,6	10,3	27,3	14,5	29,7
-0,01	28,9	22,0	50,0	19,3	73,5	20,4
Итого	100,0	34,6	100,0	27,6	100,0	24,0

### *Выводы*

1. Положительные результаты проведенного исследования, подтвержденного опытными данными лабораторных и промышленных испытаний магнезительных продуктов в огнеупорном производстве [8, 9], дают основание рекомендовать газоструйную установку для совмещенного измельчения и пневматической сепарации талько-магнезитов в схеме подготовки к обогащению огнеупорного сырья Правдинского месторождения.

2. При практическом использовании газоструйной установки в технологической схеме комплексной переработки талько-магнезитов возможно сокращение стадийности и трудоемкости производственного процесса за счет совмещения измельчения, сушки и сепарации материала, уменьшение объемов материала в операциях мокрого обогащения (флотации и фильтрования). Так как измельченный продукт содержит более 95% класса -0,074 мм, то при изготовлении из него огнеупорных изделий возможно исключение операции измельчения перед брикетированием, что также позволит уменьшить общие затраты.

3. Отечественная сырьевая база для производства огнеупоров получит реальное развитие путем строительства рудника на Правдинском месторождении, обогатительной фабрики по технологии безотходного производства магнезительного и тальковых концентратов, а также цеха форстеритовых огнеупоров (без добавки в шихту спеченного магнезита) в объеме порядка до 100 тыс. тонн изделий в год.

### **Список литературы**

1. Форстеритовые огнеупоры из талько-магнезита Правдинского месторождения / Л.Ж. Горобец, В.И. Кармазин, В.И. Горобец и др. // Огнеупоры. – 1974. – № 12. – С. 10-15.
2. Кармазин В.И., Горобец Л.Ж., Бебеш А.А. Исследование измельчения и обогатимости талькомагнезитовых пород Правдинского месторождения УССР // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1971. – Вып. 9. – С. 28-29.
3. Горобец В.И., Горобец Л.Ж. Новое направление работ по измельчению. – М.: Недра, 1977. – 183 с.

## **Підготовчі процеси збагачення**

4. Горобец Л.Ж. Микропорошки: технология и оборудование // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 1999. – Вип. 4(45). – С. 33-41.
5. Горобец Л.Ж. Исследование процесса подготовки руд к обогащению газоструйным способом // Развитие теории, совершенствование техники и технологии подготовки руд к обогащению. – Л.: Механобр, 1982. – С. 53-57.
6. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – Днепр-ск: НГУ, 2004. – 35 с.
7. Пилов П.И., Горобец Л.Ж., Верхоробина И.В. Технологические возможности струйных измельчителей // ГИАБ. – №3. – 2007. – С. 359-367.
8. Горобец Л.Ж., Машкова Т.Ю. Разработка технологии переработки огнеупорного сырья Украины // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 65(106). – С. 14-23.
9. О влиянии высокомолекулярных флокулянтов на флотацию талько-магнезитов Правдинского месторождения / Л.Ж.Горобец, В.И.Кармазин, В.Г.Задорожный и др. // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1972. – Вып. 11. – С. 10-12.
10. Горобец Л.Ж., Попков В.И., Краснопер П.Т. О выделении магнетитового концентрата из талько-магнезитов Правдинского месторождения // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1973. – Вып. 12. – С. 3-9.
11. Исследование процесса совмещенного измельчения и сепарации в газовых потоках талько-магнезитов / Л.Ж. Горобец, В.И. Горобец, И.М. Чеберячко и др. // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1977. – Вып. 20. – С. 69-71.

© Горобец Л.Ж., Машкова Т.Ю., 2017

*Надійшла до редколегії 05.07.2017 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*