

УДК 622.7

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД МАСАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

*Г.И. Газалеева, д.т.н., зам. генерального директора по науке ОАО «Уралмеханобр»,
gazaleeva_gi@umbr.ru; Н.А. Сопина, А.А. Мушкетов А.А., А.А.Мушкетов(мл) – ОАО
«Уралмеханобр», г.Екатеринбург.*

Месторождения титаномагнетитовых руд расположены на Урале, в Сибири, Казахстане, Узбекистане. На Урале известна Качканарская группа месторождений, в состав которой входят Гусевогорское, собственно Качканарское и Волковское. В группу месторождений Южного Урала входят Медведевское, Копанское и Суроямское. В Амурской области расположено Куранахское месторождение. Титаномагнетитовые руды являются комплексными. Наиболее характерными элементами-примесями титаномагнетитовых руд являются ванадий и платина, а в титаномагнетит-ильменитовых рудах – кобальт. Ванадий связан с титаномагнетитом, кобальт – с сульфидными минералами.

Основными рудными минералами являются титаномагнетит, магнетит, ильменит, реже встречается гематит. Нерудные минералы представлены амфиболом, пироксеном, оливином, плагиоклазом, шпинелью.

Основным методом для получения титаномагнетитовых концентратов является стадийная магнитная сепарация, которая осуществляется в магнитных сепараторах слабого поля. При исследовании новых месторождений титаномагнетитовых руд обычно за эталон принимается руда Гусевогорского месторождения и показатели обогащения, получаемые при ее переработке на Качканарском ГОКе.

В обогащаемых рудах важное значение имеет минеральная форма нахождения железа. В концентрат извлекается титаномагнетит и магнетит, определяемые как железомагнетитовое, и его извлечение определяется процентным содержанием в исходной руде. Нерудные и слабомагнитные минералы уходят в хвосты.

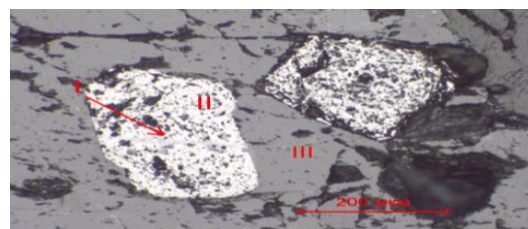
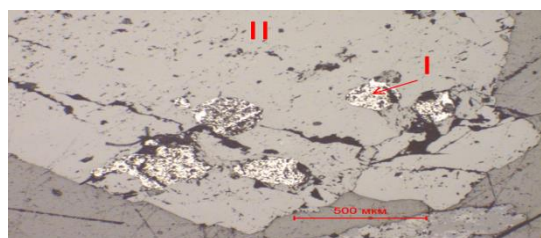
Объектом исследования являлась проба титаномагнетитовой руды Масальского месторождения (Республика Казахстан) со средним содержанием железа общего 16,1 %, железа магнетитового 7,5 %, диоксида титана 2,09 % [1]. Целью исследований была разработка технологии обогащения титаномагнетитовой руды Масальского месторождения для получения железного концентрата, пригодного для окомкования. При изучении вещественного состава и минералогических свойств исходной руды было выявлено, что 8,6 % от содержания железа общего связано с роговой обманкой, извлечение железа из которой ни методами обогащения, ни гидрометаллургическим способом на современном этапе не-

возможно. В таблице приведено сравнение химического и фазового состава руд Масальского и Гусевогорского месторождений.

Таблица 1 – Химический и фазовый составы руды

Показатели	Месторождения			
	Масальское		Гусевогорское	
Химический состав				
Содержание, %				
Железа	16,1		16,0	
Диоксида титана	2,09		1,5	
Пентаоксида ванадия	0,13		0,13	
Вредные примеси (сера, фосфор)	0,37; 0,62		0,03; 0,02	
Фазовый состав				
Железо	16,1	100,00	16,0	100,0
связанное с титаномагнетитом	7,5	46,58	12,0	75,0
связанное с гематитом	0,2	1,24	-	
связанное с ильменитом	0,2	1,24	0,26	1,6
связанное с нерудными	8,2	50,94	3,74	23,4

На рис. 1, 2 представлены зерна титаномагнетита среди нерудных минералов и прожилки ильменита в зерне титаномагнетита.



I – зерна титаномагнетита; II – зерно амфибола I – ильменит; II – магнетит; III – нерудный минерал

Рисунок 1 – Зерна титаномагнетита среди нерудных минералов

Рисунок 2 - Прожилки ильменита в зерне титаномагнетита

Данные таблицы и рисунков показывают, что 51 % от всего железа, находящегося в руде, приходится на нерудные минералы, которые представляют общий массив с вкраплениями в нем зерен титаномагнетита и магнетита. Ильменит при этом находится в виде сверхтонких прожилок в магнетите и титаномагнетите и требует ультратонкого измельчения для его выделения. Эти выводы подтверждены в процессе определения степени раскрытия рудных и нерудных минералов на оптическом микроскопе Axio Imager (Carl Zeiss, Германия), табл. 3. Среди рудных минералов преимущественно обнаружен титаномагнетит. Раскрытие рудных минералов начинается в крупности $-0,56+0,20$ мм. В этой крупно-

сти до 54 % рудных минералов находятся в свободном состоянии, при этом содержание свободных зерен нерудных минералов составляет 94 %. В кр. -0,071 мм до 100 % рудных и нерудных минералов находятся в свободном состоянии.

Таблица 1 – Содержание свободных зерен и сростков рудных и нерудных минералов в исходной руде

Классы крупности, мм	Содержание, %			
	Рудные минералы		Нерудные минералы	
	Свободные зерна	Сростки с нерудными минералами	Свободные зерна	Сростки с рудными минералами
+3,0	–	100	10	90
-3,000+2,500	–	100	10	90
-2,500+1,600	–	100	10	90
-1,600+1,000	–	100	10	90
-1,000+0,560	<1	100	15	85
-0,560+0,200	54	46	94	6
0,200+0,100	98	2	98	2
-0,100+0,071	99	1	100	<1
-0,071+0,044	100	<1	100	<1
-0,044+0,000	100	–	100	–

Исходя из выявленных особенностей вещественного состава руды, дальнейшие исследования были направлены на изучение возможности вывода максимального количества отвальных хвостов методом сухой магнитной сепарации (СМС), что позволит значительно упростить технологическую схему и снизить эксплуатационные и капитальные затраты.

Сухая магнитная сепарация исходной руды проводилась на сепараторе ПБС-90/25 с напряженностью магнитного поля 1500 Э, при различной скорости вращения барабана; сепараторе ПБС-60/20 с напряженностью магнитного поля 2500 Э на исходной руде, раздробленной до различной крупности [2].

Исследования выполнены с учетом возможностей обогатительного оборудования. Крупность руды -50+0 мм характеризует крупность стадии среднего дробления; -20+0 мм – крупность стадии мелкого дробления в открытом цикле; -12+0 мм – крупность стадии мелкого дробления в замкнутом цикле. Результаты исследования представлены в табл.3.

Результаты исследований показали возможность выделения отвальных хвостов из исходной руды крупностью -50+0 мм. Выход хвостов в данной крупности составил 30,0 %, содержание железа общего 11,7 %, содержание железа магнетитового 2,4 %. Потери магнетитового железа с хвостами связаны с наличием тонкой вкрапленности магнетита в нерудных минералах, поэтому для снижения содержания железа магнетитового в хвостах

при промышленной переработке необходимо сепарацию проводить при напряженности магнитного поля на уровне 3000 Э.

При снижении крупности питания сухой магнитной сепарации до -20+0 и -10+0 мм существенного увеличения выхода хвостов не наблюдается, в крупности -12+0 мм выход хвостов составил 35,9 %.

Технологические исследования по сухой магнитной сепарации исходной руды в крупности -6+0 и -3+0 мм показали, что снижение крупности до -6+0 мм приводит к увеличению выхода хвостов до 45,8 %, но в промышленных условиях получение данной крупности и проведение сухой магнитной сепарации этого материала приведет к значительному увеличению количества дробильно-обогатительного оборудования (дробилок, грохотов, магнитных сепараторов за счет снижения производительности [3]).

Хвосты сухой магнитной сепарации в крупности -10+0 и -6+0 мм представлены нерудными минералами с незначительным количеством тонко вкрапленного магнетита. Зависимость выхода хвостов СМС от максимальной крупности исходной руды представлена на рисунке 3.

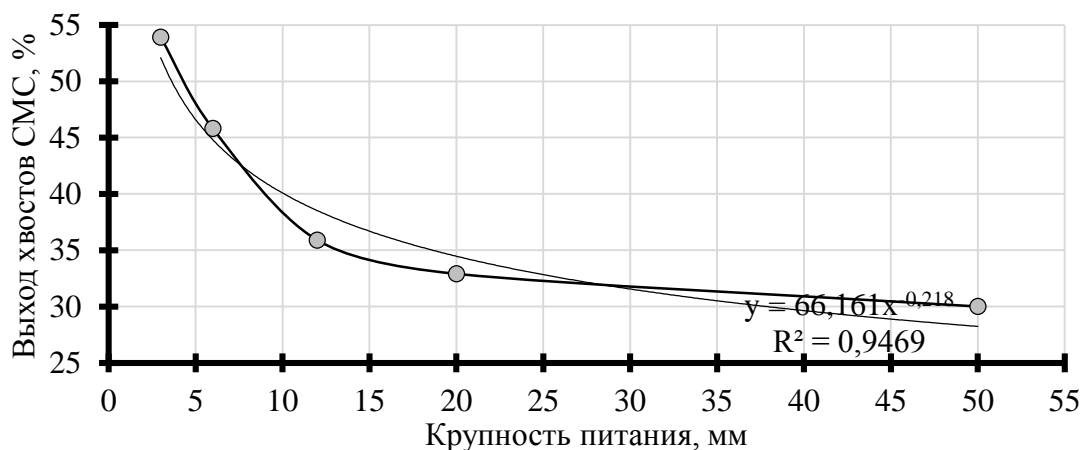


Рисунок 3 – Зависимость выхода хвостов СМС от максимальной крупности материала

Полученная зависимость показывает, что при снижении максимальной крупности с 50 до 14 мм существенного увеличения выхода хвостов не наблюдается. Начиная с крупности 12 (10) мм происходит резкое увеличение выхода хвостов. Полученная зависимость представляет собой степенную функцию выхода хвостов СМС от максимальной крупности питания. Уравнение зависимости приведено на рис. 3. Корреляционное отношение между теоретической и экспериментальной кривыми составляет 0,95, связь высокая. На рис. 4 приведены экспериментальные зависимости удельного расхода электроэнергии при дроблении исходной руды от получаемой конечной крупности дробления при использовании различных способов дробления в конусных дробилках: методом «кусок о броню» и

методом дробления «в слое». Конечная крупность дробления при этом одновременно является и крупностью питания СМС.

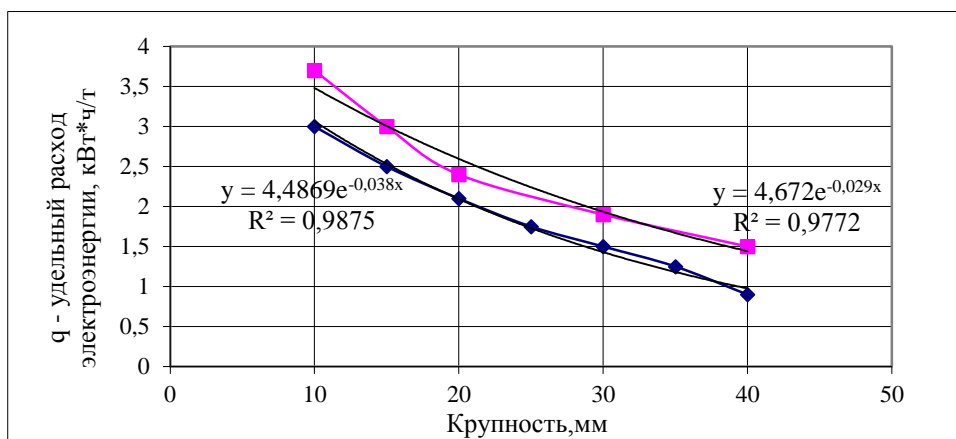


Рисунок 4 – Зависимости удельного расхода электроэнергии от конечной крупности дробления при использовании различных способов дробления в конусных дробилках

Ниже приведены системы уравнений, решая которые можно определить оптимальный удельный расход электроэнергии на дробление, используя различные способы дробления в конусных дробилках.

$$\begin{cases} \gamma_{\text{хв}} = 66,16l^{-0,218} \\ q_{\text{эл}} = 4,5e^{-0,038l} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \gamma_{\text{хв}} = 66,16l^{-0,218} \\ q_{\text{эл}} = 4,67e^{-0,029l} \end{cases}$$

где $\gamma_{\text{хв}}$ – выход хвостов СМС, %

$q_{\text{эл}}$ – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т

l – крупность, мм.

Задаваясь несколькими значениями выхода хвостов: - 30, 40 и 50 %, находим оптимальный – 40 %. Подставляя его в уравнения, находим удельные расходы электроэнергии для разных способов дробления:

- методом «кусочек о броню» - 2,75 кВт·ч/т;
- методом дробления «в слое» - 3,41 кВт·ч/т.

Таким образом, наиболее эффективным и экономичным для поставленных целей максимального вывода хвостов в голове процесса для руд Масальского месторождения является метод дробления «кусочек о броню» в конусных дробилках. Это традиционные эксцентриковые дробилки, выпускаемые в настоящее время ОАО «Уралмаш» (Россия), германской компанией Tyssen Krupp и китайскими компаниями.

Результаты исследований показали, что хвосты можно вывести в крупности 10-0 мм. Суммарный выход хвостов СМС, полученный в результате экспериментов, подтвер-

дил данные прогнозных расчетов и составил 41,6 %, содержание железа общего в них составляет 10,3 %, магнетитового 1,0 %. Далее была разработана технологическая схема мокрого магнитного обогащения, которая позволила получить концентрат с содержанием железа 68,3 %, диоксида титана 1,33 %. Выход концентрата составил 10,4 %, извлечение железа общего 43,31 %, магнетитового 90,3 %.

ВЫВОДЫ:

1. При изучении вещественного состава и минералогических свойств титано-магнетитовых руд Масальского месторождения была выявлена их характерная особенность, заключающаяся в том, что 8,6 % от содержания железа общего связано с роговой обманкой, извлечение железа из которой ни методами обогащения, ни гидрометаллургическим способом на современном этапе невозможно.

2. Исследования, направленные на максимальное выделение хвостов в голове технологического процесса с помощью сухой магнитной сепарации, теоретически и практически обосновали возможность выделения 40-41 % хвостов в крупности 10 мм.

3. Полученные экспериментально зависимости выхода хвостов и удельного расхода электроэнергии от крупности питания при дроблении различными способами показали, что для руд Масальского месторождения их теоретическая аппроксимация позволила рассчитать и обосновать наиболее эффективный и экономичный способ дробления в последней стадии - способ дробления «кусок о броню».

Таблица 3 – Результаты лабораторных исследований по сухой магнитной сепарации исходной руды Масальского месторождения

Продукты обогащения	Выход, %	Массовая доля, %			Извлечение, %		
		Fe _{общ} /Fe _{ит}	TiO ₂	V ₂ O ₅	Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅
Крупность 50-0 мм							
Магнитный продукт	70,0	18,0	2,14	0,145	78,20	71,58	78,31
Немагнитный продукт	30,0	11,7/2,4	1,98	0,094	21,80	28,42	21,69
Исходная руда	100,0	16,1	2,09	0,130	100,00	100,00	100,00
Крупность 20-0 мм							
Магнитный продукт	67,5	18,8	2,33	0,156	78,80	75,28	81,00
Немагнитный продукт	32,5	10,5/1,1	1,59	0,076	21,20	24,72	19,00
Исходная руда	100,0	16,1	2,09	0,130	100,00	100,00	100,00
Крупность 12-0 мм							
Магнитный продукт	64,1	19,4	2,38	0,161	77,26	72,86	79,56
Немагнитный продукт	35,9	10,2/0,7	1,58	0,074	22,74	27,14	20,44
Исходная руда	100,0	16,1	2,09	0,130	100,00	100,00	100,00
Крупность 6-0 мм							
Магнитный продукт	54,2	21,2	2,54	0,180	71,27	65,81	75,05
Немагнитный продукт	45,8	10,1/0,6	1,56	0,071	28,73	34,19	25,95
Исходная руда	100,0	16,1	2,09	0,130	100,00	100,00	100,00
Крупность 3-0 мм							
Магнитный продукт	46,1	23,2	2,72	0,200	66,43	60,00	70,98
Немагнитный продукт	53,9	10,0/0,5	1,55	0,073	33,57	40,00	29,02
Исходная руда	100,0	16,1	2,09	0,130	100,00	100,00	100,00

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.Н. Федорова, К. С. Криводубская, Г.Н. Осокина, «Фазовый химический анализ руд черных металлов и продуктов их переработки», Недра, Москва, 1972.
2. Остапенко П.Е. Теория и практика обогащения железных руд. - М. : Недра, 1985.
3. Г.И. Газалеева, А.А. Мушкетов (ст), Н.А. Сопина, А.А. Мушкетов (мл), Н.В. Шихов, Е.В. Братыгин, Ю.А. Чесноков. Проблемы снижения содержания титана в обогатительных и металлургических переделах при переработке титаномагнетитов (Республика Узбекистан)// Труды научно-практической конференции с международным участием и элементами школы для молодых ученых «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР», 2-4 октября 2013 г., Екатеринбург. – С.375 - 380