

УДК 622.7

**Т.Н. Гзогян**

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКАЧЕСТВЕННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ**

*Дан краткий обзор применения обратной катионной флотации для обогащения железных руд. Приведены результаты исследований состава и свойств магнетитовых концентратов месторождений КМА текущего производства, гравитационных свойств, электрохимического кондиционирования суспензии перед мокрой магнитной сепарацией.*

*Ключевые слова: сепарация, флотация в промышленных условиях, обогащения железных руд,*

**Семинар № 3**

**П**рактически на всех железорудных предприятиях за рубежом, в России и странах СНГ, перерабатывающих железные руды и железистые кварциты, применяют мокрую магнитную сепарацию, простота, освоенность и высокая эффективность которых делает заманчивым их применение.

Основным недостатком существующих магнитных схем являются высокие удельные расходы на производство и достаточно высокая массовая доля диоксида кремния в получаемом продукте.

Совершенствование такой технологии в России и странах СНГ осуществляется преимущественно в направлении снижения удельных затрат на производство концентрата, что влечет за собой высокие потери полезного компонента с хвостами, вызванных большим количеством точек вывода последних при весьма тонком измельчении. При увеличении числа перемещений в основных операциях (магнитная сепарация и дешламация) прирост массовой доли железа в промпродукте уменьшается, а в хвостах увеличивается, что связано с

дублированием одного и того же механизма разделения.

Зарубежные же фабрики работают по комбинированным технологическим схемам: получают черновые концентраты по магнитным схемам и затем для доводки используют иные методы обогащения. Вследствие разнообразия технологических свойств перерабатываемых руд за рубежом применяется: промывка, отсадка, обогащение на концентрационных столах, винтовых сепараторах и в тяжелых суспензиях, обогащение в аппаратах, использующих для разделения минералов центробежные силы, магнитное обогащение, флотация и флотогравитация.

Флотация в промышленных условиях наиболее развита в США, внедрению которой предшествовал весьма длительный период исследований.

Следует отметить, что исследования по получению высококачественных концентратов проводились в течение многих лет, так как удаление вредных примесей из концентратов, полученных из железистых кварцитов, является наиболее сложным.

В Советском Союзе в промышленных условиях флотация впервые была осуществлена на комбинате КМАруда (г. Губкин), где в феврале 1958 г был введен цех для извлечения железа из хвостов магнитной сепарации. Развитие флотационного процесса обогащения, как в СССР так и за рубежом особенно актуально было для тонковкрапленных слабомагнитных руд и доизвлечения железа из отвальных продуктов и получило свое развитие в этом направлении.

Итогом многочисленных и длительных исследований процесса флотационного обогащения железных руд установлено, что процесс может осуществляться по двум схемам: первой, основанной на активной флотации минералов пустой породы и, другой, на активной флотации минералов полезного компонента. В первоначальный период развития процесса предпочтение было отдано первому способу, но в результате длительных исследований убедились, что для флотации гематитовых руд нет необходимости в обратной флотации, связанной с применением дорогостоящего и дефицитного крахмала. В дальнейшем промышленное освоение пошло по второму пути: первая фабрика была введена в действие в США в феврале 1954 г (Гумбольд), вторая – в апреле 1956 г (Рипаблик). Хорошая флотирuemость таких руд позволяет получать концентраты по весьма простым схемам при малом расходе реагента и электроэнергии. Следует еще раз подчеркнуть, что флотационный процесс в промышленном масштабе широко применяется для слабомагнитных железных руд, для магнетитовых руд основой технологии остается мокрая магнитная сепарация.

Массовая доля железа общего в магнетитовых концентратах в настоящее время, как за рубежом, так и в

России находится примерно на одном уровне 60.0 – 67.5%, их доводка производится за счет включения в технологию тонкого грохочения, гравитационных методов, флотации, модернизированных магнитных методов. Для удовлетворения спроса металлургии на высококачественное сырье разработана технология обогащения бедных магнетитовых кварцитов, включающая вначале дешевый процесс магнитной сепарации для извлечения магнетита, а затем процесс обратной флотации для доведения массовой доли железа в концентрате до 70.0%.

Этот процесс впервые был осуществлен на опытно-промышленной установке производительностью 70.0 т/час Ново-Криворожского ГОКа (Украина), что позволило увеличить массовую долю железа на 4.0 против 64.0% (расходный коэффициент 1.54). Для дальнейшей отработки технологии производства высококачественного концентрата в июне 1982 г в эксплуатацию была введена обогатительная фабрика на Лебединском ГОКе. Проведенными испытаниями было установлено, что реагентный режим обратной анионной флотации не обеспечивает получение стабильного высококачественного концентрата: массовая доля железа в концентрате изменялась от 70.5 до 71.5, а диоксида кремния – 1.8 – 0.8%, кроме того, концентрат практически не фильтровался. Применение обратной катионной флотации позволило стабилизировать процесс и получить продукт с массовой долей железа общего 71.5 – 71.7, диоксида кремния – до 1.0%.

В качестве реагентов применяли АНП-2, технический атоний и пропоний, обезвреживание сточных вод проводилось бентонитовой суспензией, однако **следует помнить, что**

### **безвредных реагентов не существует.**

В настоящее время на повестку дня вновь встал вопрос повышения качества магнетитовых концентратов, который предприятия решают только флотационной доводкой. Получение высококачественного продукта методом обратной катионной флотации никогда не было проблемой, проблема состояла в том, что же делать с получаемым пенным продуктом. Пенный продукт, в зависимости от состава и свойств обогащаемого концентрата, имеет выход от 6.0 до 20.0% и массовую долю железа общего от 44.0 до 63.0%, представляет собой материал, состоящий, в основном, из сростков, зерна имеют окатанную форму и являются весьма труднораскрываемым и весьма труднообогащаемым продуктом, доизмельчение которого и дальнейшее дообогащение не позволяет выделить кондиционный продукт [4, 5].

Минералогические исследования показывают, что в камерном продукте из примесей присутствует кварц и минералы силикатного комплекса, а в пенном – характерно наличие рудных сростков и гематита, причем применение депрессора (крахмал, декстрин) данную картину существенно не меняет. Следовательно, при разработке технологии флотационной доводки необходимо учитывать ожелезненность кварца и минералов пустой породы, что характерно для железорудных месторождений КМА.

Но проблему получения высококачественных концентратов можно решать не только флотационной доводкой. Технологию доводки, все-таки, необходимо подбирать с учетом вещественного состава и технологических свойств перерабатываемого сырья.

Автором проведены исследования состава и свойств магнетитовых кон-

центратов предприятий КМА. Для исследований отобраны концентраты текущего производства, химический и минеральный состав которых показывает, что по массовой доле как полезных, так и засоряющих компонентов продукты различны (табл. 1 и 2). Так массовая доля свободного диоксида кремния колеблется от 3.75 до 7.35 %, серы общей - от 0.007 до 0.11%, железа общего - от 65.1 до 68.6 %, доля основного промышленного минерала – от 80.0 до 91.9 %, вредных примесей: сульфидов – до 0.11, апатита – до 0.06, кварца – до 7.61 %.

Изучение концентратов под микроскопом показало, что все концентраты в основном состоят из свободных рудных зерен. Присутствуют и сростки: рудных сростков значительно меньше, чем нерудных. Наблюдаются также и свободные нерудные. В концентратах наблюдается процесс магнитной флокуляции, который отличается от способа рудоподготовки. Так например, концентрат бесшарового измельчения имеет флокулы не плотные, рыхлые, процесс флокуляции носит комовый характер, что способствует захвату свободных нерудных зерен. Концентраты шарового измельчения наряду с рыхлыми имеют флокулы вида удлиненного эллипса, они более плотны, устойчивы и содержат в своем составе меньше нерудного. Микроскопические исследования показали, что зерна магнетита во всех концентратах в классах крупности более 0.045 мм покрыты шламами и присыпками из нерудных минералов, единичные зерна магнетита находятся в них как в "рубашке". Снятие такой "рубашки" позволило уменьшить массовую долю диоксида кремния в этом классе крупности до 10 %.

Таким образом, качество концентратов можно повысить удалением

Таблица 1

**Химический состав концентратов месторождений КМА**

Наименование компонентов	МихГОК	СтГОК	ЛебГОК	КМАруда
Fe общ	65.1	66.8	68.6	66.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	64.61	65.15	65.45	63.42
FeO	25.7	27.4	29.45	28.7
Fe магн	56.8	61.2	66.5	63.5
SiO <sub>2</sub> общ/своб	8.82/7.35	6.43/5.68	4.35/3.75	7.02/5.63
S общ	0.007	0.03	0.044	0.032
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.023	0.027	0.014	0.025
C	0.099	0.050	0.039	0.059
Na <sub>2</sub> O	0.066	0.03	0.049	0.038
K <sub>2</sub> O	0.18	0.03	0.024	0.025
ппп	0.59	0.3	0.27	0.34
Массовая доля класса минус 0.045 мм, %	90.2	88.3	96.21	84.71

Таблица 2

**Минеральный состав концентратов месторождений КМА**

Минералы	МихГОК	СтГОК	ЛебГОК	КМАруда
Магнетит	80.85	84.6	91.9	87.7
Гематит	5.91	6.8	2.0	2.9
Кварц	7.61	5.4	3.3	5.6
Силикаты	2.7	2.7	2.4	3.2
Карбонаты	0.87	0.4	0.3	0.4
Апатит	0.06	0.06	0.03	0.06
Сульфиды	0.0	0.07	0.10	0.08

Таблица 3

**Гравитационный анализ концентратов месторождений КМА**

Концентрат	Выход тяжелой фракции, %	Массовая доля Fe общ в тяжелой фракции, %	Массовая доля SiO <sub>2</sub> общ/своб в тяжелой фракции, %	Массовая доля Fe общ в легкой фракции, %
МихГОК	93.3	68.4	4.56/3.68	19.2
СтГОК	93.2	70.4	2.34/2.0	17.5
ЛебГОК	96.97	70.1	1.96/1.9	18.1
КМАруда	91.6	71.2	1.6/1.5	16.4

крупных сростков и более глубокой дешламацией.

С целью возможности снижения диоксида кремния были выполнены гравитационные исследования. Магнетитовым концентратам текущего производства был выполнен гравитационный анализ центрифугированием с использованием жидкости Клеричи при плотности 4.2 г/см<sup>3</sup> (табл. 3).

Гравитационное разделение позволило выделить тяжелую фракцию (концентрат) с массовой долей железа

общего более 70%, а диоксида кремния – от 1.6 до 2.34 %, кроме Михайловского месторождения – 68.4 и 4.56 % соответственно.

Следовательно, совершенствование технологии получения высококачественного концентрата может быть достигнуто и другими методами разделения.

С целью снижения диоксида кремния проведены эксперименты по применению электрохимического кондиционирования пульпы перед

последней стадией мокрой магнитной сепарации. Электрохимическая обработка проводилась в различных режимах при изменении времени, объемной плотности тока и напряжения. Обработка проводилась в оптимальном режиме при объемной плотности тока 0.4 А/л, окислительно-восстановительном потенциале минус 240 мВ. Минералогический анализ показал, что в результате кондиционирования во флоккулах увеличивается объемная доля рудных и уменьшается доля нерудных, кроме того флоккулы приобрели овально-удлиненную форму, они более плотны, устойчивы и содержат незначительное количество нерудных минералов, плотность рудных частиц достигает 80 – 90%.

Результаты измерений намагниченности показали ее рост на 29%, при этом наблюдается рост электрокинетического потенциала магнетита в 8 – 10 раз, что способствует изменению полной энергии взаимодейст-

вия частиц оксидов железа и кварца в отрицательную сторону и снижает их флокуляцию [6].

Проведенные исследования по влиянию электрохимической обработки на флокуляцию показали, что улучшение флокуляции оксидов железа обусловлено с одной стороны усилением их магнитных свойств, а с другой изменением энергетического состояния их поверхности по отношению к нерудным минералам.

Теоретические исследования подтверждены технологическими испытаниями и показали возможность в условиях кондиционирования перед магнитной сепарацией улучшить качество концентрата на 0.5 – 1.5 %, повысить извлечение на 1.9 – 5.7 %.

Таким образом, получение высококачественных магнетитовых концентратов из неокисленных железистых кварцитов возможно гравитационными методами обогащения, глубокой дешламацией, применением энергетических воздействий и т. д.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красуля Т.С. Повышение эффективности технологии обогащения железистых кварцитов. Горный журнал, №1. 2005.
2. Сентимова В.А. Проблемы повышения качества концентратов на железорудных обогатительных фабриках. Обогащение руд, №2, 1997.
3. Сентимова В.А. Испытания флотационной технологии повышения качества железных концентратов. Обогащение руд, № 3, 2009.
4. Губин Г.В., Мироненко С.Н., Губин Г.Г. Основные этапы развития обогащения бедных железистых кварцитов в Кривбассе. «Обогащение руд», № 4, 2000.
5. Гзоян Т.Н. К вопросу применения флотации для железистых кварцитов.// Актуальные проблемы горного недроведения. Сборник докладов региональной научно-практической конференции, Губкин, 2009.
6. Гзоян Т.Н. Интенсификация магнитной сепарации окисленных железистых кварцитов на основе электрохимических воздействий. Автореф. дис. ...канд. техн наук, М., 1991. **ГИАН**

### Коротко об авторе

Гзоян Т.Н. – кандидат технических наук, действительный член АГН и МАМР, зав. лабораторией ФГУП ВИОГЕМ, E-mail: mehanobr1@yandex.ru