

РАЗРАБОТКА И ПРОВЕРКА В ПОЛУПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ И ДЕШЛАМАЦИИ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ОКИСЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ИНГУЛЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Запасы окисленных железистых кварцитов весьма значительны, они являются основным потенциальным сырьем для перспективного развития железорудного производства. Необходимость более широкого их использования связано с тем, что эти руды часто добываются попутно с магнетитовыми и залегают в более благоприятных горно-геологических условиях. Поэтому в последние годы проблема обогащения окисленных железистых кварцитов приобретает все большую остроту. Ранее полученные традиционными способами неудовлетворительные результаты обогащения вызывают необходимость совершенствования существующих и разработки новых методов переработки окисленных тонковкрапленных руд.

Тонковкрапленные окисленные железистые кварциты являются труднообогатимым сырьем, при их переработке значительное количество полезных минералов переходит в тонкие фракции. Существующие разработанные методы их обогащения не всегда эффективны. Альтернативой традиционным методам обогащения является: селективная флокуляция, электролитическая, колонная, эмульсионная, компрессионная флотация и др. [1].

Процесс селективной флокуляции весьма перспективен для обогащения образовавшихся в процессе измельчения шламов окисленных железных руд. В промышленных масштабах селективная флокуляция с последующей катионной флотацией используется на фабрике Тилден (США), что позволяет сбросить перед операцией флотации до 20-30% кварцевой породы, повысить на 7-10% массовую долю железа в ее питании, снизить расход реагентов [2].

Перспективным также является использование селективной флокуляции перед магнитной сепарацией. Интенсификация процесса магнитной сепарации путем обработки пульпы реагентами объясняется эффектом укрупнения сфлокулированных частиц, притягиваемых магнитным полем сепаратора, что позволяет повысить магнитную восприимчивость материала вследствие увеличения абсолютных размеров извлекаемых агрегатов. В конечном итоге флокуляция приводит к росту извлекающей магнитной силы и снижению противодействующих гидродинамических сил сопротивления среды.

Из анализа работ в области селективной флокуляции установлено, что использование данного процесса позволит повысить извлечение железа в концентрат на 10% при магнитном методе обогащения, на 1,5-2,0% - при флотационной и на 3% - при комбинированной магнитно-флотационной технологии [3].

Сущность процесса флокуляции заключается в избирательном агрегировании мономинеральных частиц и последующем отделении агрегатов от оставшихся неагрегированных (диспергированных) частиц. Селективная флокуляция основана на применении избирательно действующих реагентов-флокулянтов различных типов (крахмал картофельной мезги, крахмал тапиока, кукурузный крахмал, а также высокомолекулярные полимеры: престол и ПАА). Процесс включает несколько последовательных стадий: диспергирование измельченной руды с помощью реагентов, стабилизацию диспергированных минералов, селективную флокуляцию железистых шламов и дешламацию для удаления в основном глинистых и кремнистых шламов.

Диспергирование достигается сообщением частицам высокого электрокинетического потенциала или их гидратацией путем регулирования рН среды, а также добавками реагентов-стабилизаторов (диспергаторов). В качестве стабилизаторов обычно применяют полисиликаты натрия (жидкое стекло), полифосфаты натрия, эфиры сульфоянтарной кислоты, едкий натр,

сочетание известково-содовой смеси и жидкого стекла, лигносульфанаты и др. [4]. Необходимым условием диспергирования шламов является введение щелочи в процесс селективной флокуляции для достижения сильнощелочной среды ($\text{pH}=10-11,5$), что при дальнейшем обесшламливании позволит удалить наиболее диспергированные породные минералы.

Очень часто все необходимые реагенты (диспергатор, регулятор среды) вводятся непосредственно в мельницу, чтобы обеспечить хорошее их перемешивание. Измельченный и классифицированный материал после кондиционирования с реагентом-флокулянт для селективной флокуляции окислов железа направляется на дешламацию, где происходит селективное разделение глинистых и кремнистых частиц от образовавшихся флокул окислов железа. При дальнейшем обогащении по схеме применение селективной флокуляции позволит повысить качество и извлечение ценного компонента в конечный концентрат и снизить потери железа с хвостами. Применение селективной флокуляции в переработке окисленных железистых кварцитов является перспективным направлением, однако требует глубокого изучения.

Руководством ОАО «ИнГОК» с целью комплексного использования руд Ингулецкого месторождения было принято решение провести поисковые исследования по обогащению окисленных железистых кварцитов данного месторождения с применением селективной флокуляции и дешламации и без этих операций для определения эффективности внедрения данной технологии.

Поэтому в институте «Механобрчермет» в период с 2010 по 2011 год были проведены испытания на пробе окисленных железистых кварцитов Ингулецкого месторождения для разработки высокоэффективной технологии обогащения руды, предполагающей применение операции селективной флокуляции и дешламации.

На первом этапе выполнения научно-исследовательской работы были проведены лабораторные исследования по выбору оптимального реагентного режима и крупности исходного питания для операции селективной флокуляции, изучение влияния реагентов на показатели магнитного обогащения.

Важным условием достижения хороших показателей селективной флокуляции является не только выбор подходящего флокулянта, но и соответствующая подготовка и кондиционирование пульпы. Основными требованиями подготовки являются [5]:

- усреднение исходной пробы для стабильных показателей с незначительным отклонением по массовой доле железа;

- равномерное измельчение минерала до нужных размеров;

- соответствующее разбавление измельченной руды водой;

- все минеральные компоненты смеси должны иметь один и тот же знак заряда (это может быть достигнуто регулированием pH среды или использованием диспергаторов), так как в противном случае будет иметь место гетерокоагуляция; достижение высокой седиментационной устойчивости суспензии исходных частиц не обязательно, однако она должна быть достаточно стабильной, чтобы можно было отделить образующиеся в результате селективной флокуляции агрегаты от остальных частиц;

- флокулянт следует добавлять в виде разбавленного раствора при перемешивании суспензии;

- после введения флокулянта интенсивность перемешивания снижается до минимума и пульпа «кондиционируется» так, чтобы образующиеся флокулы начали осаждаться; на этой стадии флокулы увеличиваются в размерах, а механически связанные, «захваченные» частицы имеют возможность освободиться от основной массы флокулирующего компонента; при слабом перемешивании «рыхлые» флокулы распадаются и вновь формируются, что способствует получению однородных по составу агрегатов.

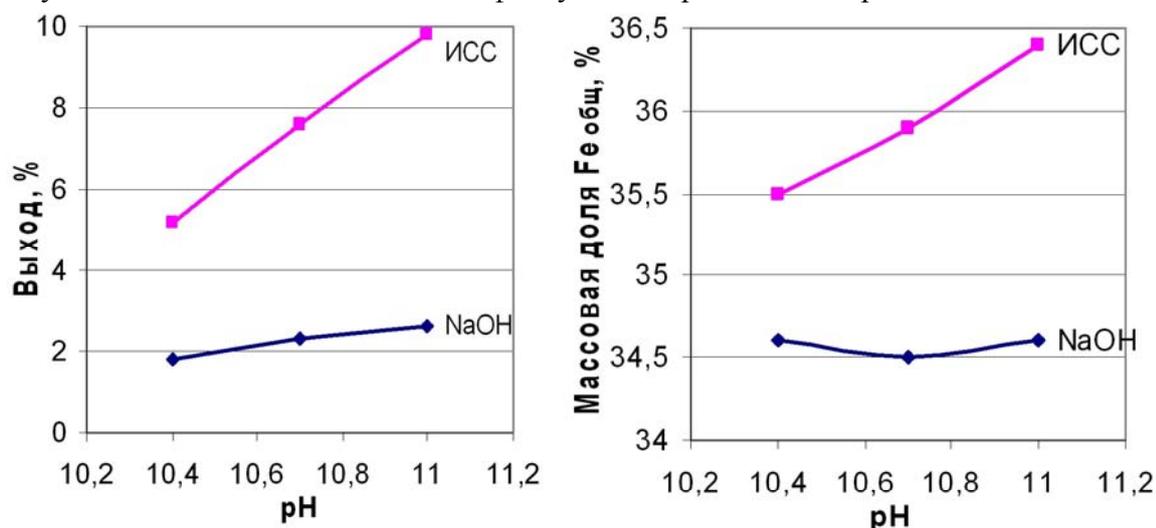
Изначально лабораторные исследования были выполнены без применения реагентов с целью получения данных для последующего сравнения эффективности операции обесшламливании с селективной флокуляцией и без нее. Данные исследования были проведены на материале крупностью 95% класса минус 0,044 мм с массовой долей твердого в пульпе 25%. Такие характеристики исходного питания операции дешламации были приняты исходя из предполагаемой технологической схемы обогащения. В результате были получены следующие

показатели: выход слива 6,6% с массовой долей железа общего 26,8%, прирост в песках железа общего составил 0,7%.

Далее, с целью выбора оптимального реагентного режима селективной флокуляции, опыты были спланированы по методу латинского квадрата. Анализируя ранее выполненные работы, в качестве флокулянта был выбран кукурузный крахмал, диспергатора – жидкое стекло, регулятора среды – едкий натр (NaOH) и известково-содовая смесь (ИСС). В результате проведенных исследований были определены оптимальные расходы крахмала и жидкого стекла, которые были взяты за основу для дальнейших исследований.

Определение влияния действия регуляторов среды (NaOH и ИСС) на селективность разделения рудных и нерудных минералов было выполнено на исходном материале в той же крупности и плотности, что и ранее.

Результаты опытов по селективной флокуляции приведены на рис. 1.



а - зависимость выхода слива от pH среды

б - зависимость увеличения массовой доли железа в песках от pH среды

Рис. 1 – Графики зависимости влияния регулятора среды на процесс селективной флокуляции

Из рисунка видно, что в процессе селективной флокуляции применение в качестве диспергаторов сочетания известково-содовой смеси и жидкого стекла создает более благоприятные условия стабилизации кремнистых и последующей флокуляции рудных составляющих в отличие от комбинации едкий натр - жидкое стекло. Это объясняется тем, что с вводом регуляторов среды в процесс жесткость воды уменьшается, однако при использовании ИСС содержание ионов Ca^{++} в воде сравнительно выше, чем при использовании NaOH. Известно, что в присутствии ионов Ca^{++} сорбция крахмала увеличивается и на гематите количество закрепившегося флокулянта выше, чем на кварце, причем эта разница возрастает с ростом щелочности среды.

Следовательно, при использовании в качестве регулятора среды известково-содовой смеси выход слива составил от 5,2 до 9,8% с массовой долей железа общего 18,3-19,2% и приростом качества в песках от 0,9 до 1,7%. В опытах с применением едкого натра выход слива составил 1,8-2,6% с массовой долей железа общего 19,0-20,4%, качество в песках по опытам увеличилось на 0,3-0,4%.

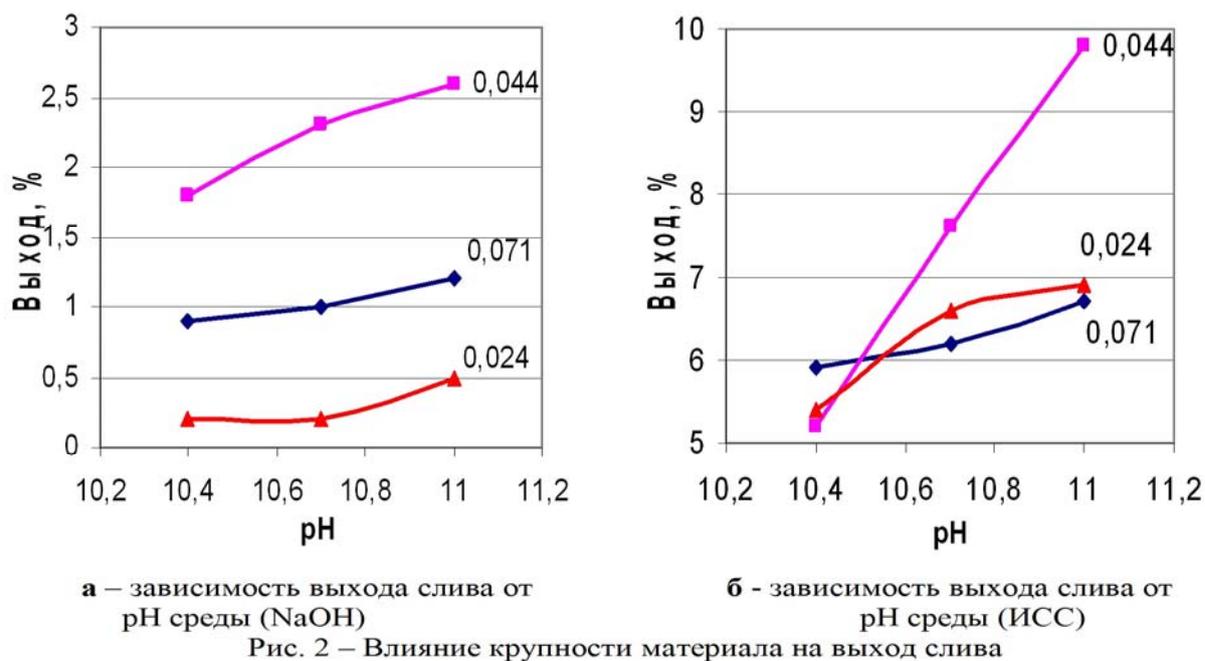
Также были проведены исследования на более разбавленных пульпах, в результате которых выход слива составил не более 0,2% с массовой долей железа общего 17-18% - с применением NaOH и не более 3,0% с массовой долей железа общего 21-22% при использовании в качестве регулятора среды известково-содовой смеси. Таким образом, для дальнейших исследований по селективной флокуляции оптимальная массовая доля твердого в исходном питании составила 25%.

Исходя из зарубежной и отечественной практики измельчения тонковкрапленных гематитовых руд, на операцию обесшламливание с селективной флокуляцией может поступать

продукт крупностью 0,071 мм – после первой стадии измельчения, 0,044 мм – после второй стадии измельчения и 0,024 мм – после третьей стадии измельчения. Поэтому было изучено влияние крупности на эффективность ведения процесса.

При различной степени раскрытия исходного материала использование в качестве регулятора среды раствора известково-содовой смеси дает возможность получения лучших результатов, по сравнению с едким натром. Наибольший выход слива - 9,8% и прирост качества в песках составил 1,7%, получены при крупности измельчения исходных окисленных железистых кварцитов до 95% класса минус 0,044 мм. Наименьшие потери железа со сливом обеспечивает крупность измельчения 95% класса минус 0,024 мм, в виду того, что материал в этой крупности наиболее раскрыт и в слив переходит меньшее количество богатых сростков.

Влияние крупности материала на процесс селективной флокуляции графически показан на рис. 2.



Таким образом, можно сделать вывод, что в процессе селективной флокуляции применение в качестве диспергаторов сочетания известково-содовой смеси и жидкого стекла создает более благоприятные условия стабилизации кремнистых и последующей флокуляции рудных составляющих в отличие от комбинации едкий натр - жидкое стекло.

Так как селективная флокуляция применяется в операции обесшламливания, которая в технологических схемах, как правило, предшествует операции мокрой магнитной сепарации, было изучено влияние реагентов на показатели магнитного обогащения.

При обработке питания магнитной сепарации в сильном поле крахмалом скорость осаждения частиц выше, чем без обработки, а минимальная крупность зерна возрастает. Вместе с тем, результаты исследований свидетельствуют о большой чувствительности процесса к расходу крахмала: так, незначительное увеличение расхода способствует резкому нарушению селективности флокуляции.

Лабораторные исследования показали, что предварительная обработка пульпы в щелочной среде реагентами – диспергаторами (жидким стеклом) и флокулянтами (кукурузным крахмалом), обеспечивающими укрупнение рудных частиц перед магнитной сепарацией в сильном поле, способствует интенсификации процесса разделения.

На основании полученных данных установлено, что применение флокулянтов при магнитной сепарации является хорошим средством, способствующим значительному повышению извлечения. Так, при прочих равных условиях, с применением кукурузного крахмала при одинаковом качестве концентрата извлечение железа в концентрат, по опытам, проведенным в лабораторных условиях, повышается на 12%.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о целесообразности использования метода селективной флокуляции для интенсификации процесса магнитной сепарации окисленных железистых кварцитов.

Для уточнения полученных результатов лабораторных исследований и сравнительных испытаний технологий магнитного обогащения окисленных железистых кварцитов Ингулецкого месторождения с использованием операций селективной флокуляции и дешламации и без применения этих операций на опытной фабрике института были проверены четыре варианта технологических схем.

Первые два варианта схемы были проверены без применения операции селективной флокуляции. Разница между ними заключается в следующем: по первому варианту измельчение производилось по традиционной схеме – последовательно в две стадии до 95% класса минус 0,045 мм. Мельницы работали в замкнутом цикле с классификатором – в I стадии и с гидроциклоном – во II стадии. Во втором варианте схемы I стадию измельчения осуществляли в мельнице, работающей в открытом цикле с выводом готового класса (слива классификатора) менее 0,045 мм. Пески классификатора направлялись на II стадию измельчения, работающую в замкнутом цикле с грохотом. Подрешетный грохота и слив классификатора крупностью 95% класса минус 0,045 мм направлялись далее по схеме.

Сравнивая первые два варианта схем, можно сделать вывод, что постепенное раскрытие материала (первый вариант схемы) является щадящим режимом для данного типа руды, тем самым, обуславливая образование меньшего количества шламов и потерь мелкого рудного материала с хвостами схемы. В результате с уменьшением потерь мелкого гематита в хвостах, возрастает выход концентрата на 7,5% и увеличивается извлечения железа в концентрат на 12,0%.

Так как наибольшее количество хвостов сбрасывается в первой стадии магнитного обогащения, то операцию селективной флокуляции целесообразно применять в голове процесса (после измельчения и классификации I стадии) с целью уменьшения потерь ценного компонента с хвостами. Согласно данным, полученным при лабораторных исследованиях, оптимальной крупностью питания для операции селективной флокуляции является 95% класса минус 0,045 мм. Поэтому, на опытном производстве, влияние селективной флокуляции на показатели обогащения было проверено по второму варианту технологической схемы.

Регулятор среды и диспергатор подавались в мельницу I стадии измельчения. Реагент-флокулянт подавался в зумф насоса перед операцией дешламации. По данной схеме с применением селективной флокуляции в операции дешламации возможно сбросить 10,2% образующихся при измельчении первичных шламов, что в 2-2,5 раза больше чем по аналогичной схеме без селективной флокуляции. При этом массовая доля железа общего в сливах дешламатора остается неизменной. Также применение селективной флокуляции позволило снизить потери полезного компонента с хвостами магнитной сепарации, что в свою очередь привело к повышению выхода концентрата на 7,8% и, как следствие, к увеличению извлечения железа на 12,45%.

Проведенные испытания в полупромышленных условиях подтвердили результаты лабораторных исследований. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования метода селективной флокуляции с дешламацией для обогащения окисленных железистых кварцитов, отличающихся сложным полиминеральным составом и дисперсной вкрапленностью рудных минералов.

Однако отечественные и зарубежные работы в области селективной флокуляции, многочисленные исследования института «Механобрчермет» и опыт внедрения флокуляции с обесшламливанием в промышленных масштабах показали, что процесс очень чувствителен к изменениям качества оборотной воды и минерального состава руды. Качество оборотной воды является основной проблемой на фабриках и должен постоянно контролироваться (физические свойства и химический состав). Установлено, что на состав оборотной воды большое влияние оказывает изменение погодных условий в зависимости от времени года. Наибольшее значение имеют такие контролируемые параметры, характеризующие качество оборотной воды: содержание растворимого кремнезема и взвешенных твердых частиц, температура, жесткость и pH воды [6, 7].

Необходимым условием стабильного протекания процесса селективной флокуляции является точное дозирование реагентов. Так как при избыточном расходе реагентов-стабилизаторов (диспергаторов) последующая флокуляция будет протекать с очень малой скоростью.

Также отмечено, что с увеличением щелочности среды происходит снижение адсорбции флокулянта, заряженного отрицательно в широком интервале рН. В присутствии ионов Ca^+ сорбция флокулянта увеличивается. Однако на гематите количество закрепившегося флокулянта выше, чем на кварце, причем эта разница возрастает с ростом щелочности среды [8].

Применяя в промышленных масштабах технологию селективной флокуляции для достижения наиболее эффективного разделения минералов с течением времени реагентный режим следует корректировать. Так в зимнее и летнее время процесс селективной флокуляции и обесшламливания должен производиться при различных расходах основных реагентов в соответствии с дисперсным состоянием оборотной воды. Летний период характеризуется небольшим расходом силиката натрия и максимальным расходом полимеров, в зимние же месяцы расход силиката натрия возрастает, а расход полимеров снижается. В переходные месяцы осенне-весеннего периода реагентный режим также требует корректировки. Необходимость регулирования расходов реагентов с течением времени также связано с изменчивостью минералогического состава руды. Следует также учитывать, что качество применяемых реагентов должно быть стабильным. Для достижения хорошей селективности разделения важным фактором является устойчивость самого процесса селективной флокуляции, четкость и безаварийность работы оборудования всей технологической цепочки.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что применение селективной флокуляции с дешламацией является альтернативным и перспективным направлением в развитии обогащения шламов железных руд, что позволяет снизить потери железа с тонкими классами в хвостах и повысить его извлечение в концентрат. Однако к данному процессу предъявляются жесткие требования, что обусловлено большой чувствительностью операции селективной флокуляции.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шрадер Э.А., Ратмирова Л.И. и др. Исследования модифицированных крахмалов при селективной флокуляции окисленных железных руд.//Совершенствование переработки минерального сырья.- М.: ИПКОН АН СССР, 1981.- С. 63-70.
2. Хинтибидзе М.Я., Шрадер Э.А. Влияние селективной флокуляции на магнитное обогащение железных руд.//Повышение полноты и комплексности извлечения ценных компонентов при переработке минерального сырья.-М.: ИПКОН АН СССР, 1985.С. 98-101.
3. Юров П.П., Ветрова Е.Ф. и др. Разработка и освоение технологи обогащения окисленных железных руд.//Обогащение руд черных металлов.Тематический сборник , М., Недра, 1978.
4. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: Учебник для ВУЗов. В 3 т. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. - Т.II. Технология обогащения полезных ископаемых. - 510с.: иллюстр.
5. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение.-Л.: Химия, 1987.-208 с.
6. Остапенко П.Е. Теория и практика обогащения железных руд. – М.: Недра, 1985. – 270 с.
7. Особенности процесса селективной флокуляции и обесшламливания при флотационном обогащении окисленных железных руд// Экспресс- информация ЦНИИТЭИ ЧМ. Сер. Обогащение руд. - М., 1981. – Вып. 2. – 15 с.
8. Ветрова Е.Ф., Уваров В.С., Герасимова З.Ф., Ганзенко Т.Б. Селективная флокуляция тонких шламов окисленных кварцитов Криворожского бассейна и КМА. Бюлл. научно-техн. информации, 12 (752), М., ЦНИИ черметинформация, 1975, С. 28-30.