УДК 622.341.1:622.7

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕМАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ СКЛАДИРОВАННЫХ ХВОСТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА АО «ОЛКОН»

М. С. ХОЛУЛЯ,
ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук,
m.hohulya@ksc.ru

А. В. ФОМИН,
научный сотрудник

С. А. АЛЕКСЕЕВА,
научный сотрудник

И. В. КАРПОВ,
ведущий технолог

Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

Введение

Значительным резервом национальной экономики являются техногенные месторождения, которые могут стать дополнительным источником сырья для различных сегментов рынка. Их освоение позволит одновременно решать проблемы охраны окружающей среды и улучшения экологической обстановки [1].

Вовлечение в эксплуатацию отходов железорудного производства — значимый фактор интенсификации ресурсоиспользования, так как без увеличения объемов добычи и переработки железных руд повышаются потенциал и эффективность использования минерально-сырьевого комплекса за счет получения дополнительного количества и видов продукции, снижения совокупных издержек на их производство, сокращения темпов развития собственной сырьевой базы и мощностей по ее освоению. Таким образом, утилизация горнопромышленных отходов является мощным резервом повышения эффективности комплексного использования минеральных ресурсов [2].

Актуальность проблемы вовлечения в переработку железосодержащих хвостов в России подтверждается рядом работ, в которых в качестве объекта исследований приняты отходы обогащения Лебединского, Михайловского, Ковдорского, Камыш-Бурунского ГОКов, Краснокаменского рудника [3–8]. За рубежом также интенсивно проводят исследования возможности переработки отходов обогащения железных руд, месторождения которых

Приведены результаты изучения вещественного состава складированных хвостов обогатительной фабрики АО «Олкон». Обоснована гравитационная технология получения из них гематитового концентрата, включающая компоновочные решения с использованием нескольких стадий винтовой сепарации для выделения черного концентрата и последующее его дообогащение на концентратном столе. Определены оптимальные условия дезинтеграции промпродукта гравитационного обогащения, что позволило добиться селективного раскрытия зерен рудных минералов. Рекомендуемая технологическая схема обогащения складированных хвостов обеспечивает получение гематитового концентрата с содержанием железа общего более 62 % при сквозном извлечении гематитового железа около 76 %.

Ключевые слова: техногенные отходы, хвосты, железистые кварциты, гематитовый концентрат, гравитационное обогащение, винтовая сепарация, концентрация на столе.

DOI: 10.17580/gzh.2020.09.12

расположены в Бразилии, Китае, Турции [9–14]. Авторы предлагают технологии переработки складированных хвостов с использованием процессов гравитационного обогащения, магнитной сепарации как в сильном, так и слабом поле, флотации, которые обеспечивают получение железорудного концентрата необходимого качества. Ряд исследований посвящен использованию отходов железорудных предприятий в производстве керамики, цемента, кирпича, пигментов и нанопорошков [15–19].

Оленегорский горно-обогатительный комбинат с момента выпуска в 1954 г. первой партии железорудного концентрата стал первым в России предприятием, на котором в промышленном масштабе была реализована технология глубокого обогащения магнетит-гематитовых кварцитов. В дальнейшем в ходе освоения новой технологии при проведении пусконаладочных работ, подборе режимов эксплуатации основного и вспомогательного оборудования дробильно-обогатительной фабрики (ДОФ) хвосты обогащения складировали в непосредственной близости от фабрики в аккумуляционном бассейне. Сначала туда поступал промпродукт основной магнитной сепарации с повышенными концентрациями гематита, а впоследствии и все аварийные сбросы фабрики.

В связи с нарастанием техногенной нагрузки на природную среду вследствие сокращения свободной полезной емкости бассейна руководством комбината было принято решение о вовлечении в переработку накопленных запасов отходов производства.

Основные потери железосодержащих минералов на предприятии связаны с гематитом, поскольку гематитовый концентрат на ДОФ производят по двухстадийной схеме гравитационного обогащения в отсадочных машинах МОД-3, установленных в основной и контрольной операциях. Процесс отсадки в используемой

технологии характеризуется невысокой эффективностью обогащения, ее среднее значение не превышает 28 %. Извлечение $Fe_{гем}$ в концентрат отсадки является довольно низким и находится в пределах 30–35 % (от питания цикла гравитационного обогащения).

Основная причина неудовлетворительных показателей обогащения заключается в гранулометрическом составе питания отсадочных машин. Минимальная крупность обогащаемого материала составляет 0,1–0,2 мм для различных видов руд. В питание отсадочной машины на фабрике поступает материал с содержанием класса –0,1 мм от 9 до 20 % и класса –0,2 мм от 37 до 53 %. Таким образом, до 50 % материала в питании отсадочных машин не может быть эффективно разделено в силу недостатков используемого обогатительного оборудования. Это связано с пространственными флуктуациями частиц в камере отсадочной машины, вызванными неоднородностью структуры элементарных объемов взвеси, где тонкие частицы гематита вместе с породными минералами взмучиваются и выносятся в верхние слои суспензии. Данное обстоятельство приводит к существенным потерям гематита с хвостами отсадки.

Исследования на обогатимость данного сырья, ранее проведенные специалистами АО «Олкон» [20] и Горного института КНЦ РАН [21, 22], показали возможность получения коллективного железорудного концентрата с содержанием в нем 60–65,8 % $Fe_{общ}$, что практически не отличается от уровня содержания железа при переработке руд коренных месторождений.

Опираясь на результаты этих исследований, а также учитывая наметившуюся тенденцию сокращения минерально-сырьевой базы предприятия, руководством АО «Олкон» было принято решение о продолжении работ в этом направлении, связанных с созданием эффективной технологии получения дополнительных объемов железорудного концентрата при освоении данного техногенного месторождения.

На основании полученных результатов для продолжения исследований из различных участков хвостохранилища была отобрана представительная проба лежалых хвостов АО «Олкон». В статье представлены материалы по изучению вещественного состава крупнообъемной пробы хвостов, направленные на разработку ресурсосберегающей технологии их обогащения с целью вовлечения данного вида техногенного сырья в переработку.

Объекты и методы исследования

Основным условием обеспечения эффективности процесса обогащения руды является наличие значительного градиента по одному или нескольким физическим признакам между рудными и нерудными минералами. Гематит является парамагнетиком, слабомагнитным минералом, имеющим плотность 5,2 г/см³, кварц – диамагнетик, немагнитный минерал, плотность которого 2,65 г/см³. Следовательно, обогащение гематит-кварцевых складированных отходов возможно магнитным или гравитационным способом. Наиболее перспективным, по мнению авторов, является гравитационный метод, основанный на разделении минеральных частиц в тонком потоке воды с использованием наряду с гравитационными силами сил динамического давления струи

Рис. 1. Средние содержания различных форм железа по скважинам, пробуренным на хвостохранилище

воды, центробежных сил и силы трения. По сравнению с другими методами (магнитным, флотационным) такой способ является наиболее дешевым, простым в исполнении и в ряде случаев более селективным.

Отвальные железосодержащие продукты АО «Олкон» представлены складированными хвостами обогащения, образованными в результате переработки железистых кварцитов в течение более 70 лет работы предприятия. Площадь хвостохранилища превышает 1100 га, а объемы складированного минерального сырья – более 500 млн т.

Несовершенство существующей технологии в гравитационном цикле получения гематитового концентрата привело к значительным потерям железа с отвальными хвостами отсадки, направляемыми в хвостохранилище, где также сосредоточен материал хвостов, сформированный из немагнитных фракций магнитной сепарации в цикле получения магнетитового концентрата.

Представительная проба техногенного материала складированных хвостов фабрики получена в результате бурения скважин на различных участках хвостохранилища с сеткой размером около 500×500 м. В связи с обводненностью некоторых участков хвостохранилища было пробурено всего 17 скважин из запланированных 25. Мощность техногенных отложений варьировалась в диапазоне от 15 до 31 м. Пробы, полученные в ходе бурения скважин с различной глубины, были проанализированы на содержание отдельных форм железа: общего, магнитного и гематитового с использованием методов химического анализа. После обработки проб с учетом содержания различных форм железа установлено, что в них отсутствует гравитационная дифференциация материала по плотности в зависимости от глубины залегания, т. е. с увеличением глубины отбора пробы содержание гематита и магнетита в большинстве скважин не повышается.

Расчет среднего содержания полезных компонентов по скважинам позволил выделить участки хвостохранилища с наибольшим содержанием гематитового железа. На **рис. 1** обозначены места бурения скважин и средние содержания различных форм железа. Наиболее богатые участки с содержанием $Fe_{гем}$ до 5,9 %

расположены в северной части хвостохранилища, а наиболее бедные по гематитовому железу скважины (0–1,8 %) отмечены красными точками и расположены в левой части рисунка.

Бортовое содержание гематитового железа, принятое для данного техногенного месторождения, не превысило 2 %. Общую пробу формировали по установленной величине бортового содержания, и пробы скважин, где оно составило менее 2 % $Fe_{гем}$, не подлежали объединению. Содержание различных форм железа в объединенной пробе материала хвостохранилища составило 8,76 % $Fe_{общ}$; 1,53 % $Fe_{магн}$; 3,67 % $Fe_{гем}$.

На рис. 2 приведены гранулометрический состав материала, а также содержание и распределение гематитового железа по классам крупности. Основная часть материала пробы представлена частицами крупностью $-0,63+0,1$ мм, выход которых составляет 61,8 %, на долю частиц крупностью более 1 мм приходится около 13 %, а содержание шламовой фракции $-0,071$ мм – около 10 %.

Можно отметить некоторое увеличение массовой доли железа с уменьшением крупности частиц с 1 % в классе +1,6 мм до 5–6 % в классах менее 0,2 мм. Значительная часть гематитового железа (до 63 %) распределена во фракции крупностью $-0,63+0,1$ мм, при этом на долю частиц $-0,071$ мм, гравитационное обогащение которых затруднено, приходится около 15 % гематита; а в крупнозернистой фракции более 1 мм сосредоточено 5 % минерала.

Для изучения минералогических характеристик пробы использовали стереоскопический микроскоп LEICA MZ-6, оптический микроскоп Axioplan-2 и дифрактометр D2 PHASER.

Основными минералами пробы являются: кварц с массовой долей 57,8 % и силикаты, представленные полевыми шпатами (13 %), амфиболами (10,3 %), пироксенами (5,9 %) и слюдами (3,8 %). Содержание гематита в пробе составило 5,2 %, а магнетита – 2,1 %.

Результаты минералогического анализа по выявлению раскрываемости зерен гематита в узких классах крупности показали, что общее содержание свободного гематита в пробе достаточно высокое и составляет порядка 70 %. Во фракциях крупнее 1 мм весь гематит находится в сростках, в материале крупностью $-1+0,63$ мм количество свободных зерен составляет 25 %, класс крупностью $-0,63+0,315$ мм содержит около 55 % свободных зерен гематита. Начиная с крупности $-0,315$ мм количество раскрытого минерала превышает 90 %. Степень раскрытия гематита более 95 % достигается при крупности материала $-0,2$ мм.

Сростки гематита представлены двумя основными типами: первый – это преимущественно зерна кварца и амфиболов, реже – полевых шпатов с гематитом, объемная доля которого составляет от 30–50 до 85–95 %; второй – мелкие включения гематита в кварце, которые формируют бедные, трудно раскрываемые сростки. Первый тип сростков преобладающий, что является благоприятным фактором для раскрытия минерала при доизмельчении.

Проведенные исследования позволили выделить непродуктивную фракцию крупностью +1 мм, в которой сосредоточено не более 5 % гематита при содержании в ней 1,4 % $Fe_{гем}$.

Рис. 2. Гранулометрическая характеристика объединенной пробы хвостов с содержанием и распределением $Fe_{гем}$ по классам крупности:

1 – выход класса крупности, %; 2, 3 – содержание и распределение гематитового железа, %

Практически весь минерал в данном классе крупности находится в сростках. Поэтому перед проведением технологических опытов на обогатимость исходный материал проходил стадию грохочения по классу 1 мм, что позволило повысить содержание общего и гематитового железа в пробе до 9,1 и 4,4 % соответственно.

Исследования по разработке технологии обогащения пробы лежалых хвостов проводили на укрупненной лабораторной установке с использованием винтового сепаратора ВСП-500, винтового шлюза ВШ-500 и концентрационного стола Holman-Wilfley.

Результаты исследования и их обсуждение

На основании выявленных закономерностей вещественного и гранулометрического состава, а именно: существующей разницы в значениях плотности между рудными и породообразующими минералами и низкого содержания частиц шламовой крупности, а также ранее достигнутых результатов по обогащению складированных хвостов в головных операциях процесса разделения данного материала целесообразно использовать винтовую сепарацию. Данная операция хорошо себя зарекомендовала и эффективно реализуется на некоторых зарубежных и отечественных предприятиях, перерабатывающих железорудное сырье [23, 24].

Результаты разделения на винтовой сепарации исходного материала показали, что на выходе сепаратора возможно выделение трех продуктов:

- у внутреннего борта формируется веер концентрата, содержание $Fe_{гем}$ в нем составляет 21,7–28,5 %, эта зона узкая, и выход может варьироваться в пределах 7–12 %;
- в следующей зоне с выходом 41–46 % формируется пром-продукт, в котором содержание $Fe_{гем}$ находится на уровне исходного питания и составляет 9–9,5 %;
- со стороны внешнего борта образуется достаточно широкий веер хвостов с выходом около 46 % и содержанием $Fe_{гем}$ не более 1,5 %, этот продукт можно сразу вывести из процесса без дальнейшего его обогащения в отвал.

Для перечистки полученных продуктов рассматривали введение второй стадии винтовой сепарации в двух различных компоновках:

Рис. 3. Степень раскрытия гематита в промпродукте гравитационного обогащения до и после измельчения:

1, 2 — гематит свободный и в сростках соответственно

- совместная перемешка концентрата и промпродукта первой стадии;
- выделение черного концентрата на первой стадии и перемешка только промпродукта на второй стадии.

Оба варианта схемы обеспечивают выделение черного железорудного концентрата с получением близких показателей обогащения при его выходе 12–16 %, содержании $Fe_{общ}$ 30–35 % и извлечении 62–71 % по $Fe_{гем}$. Потери с отвальными хвостами, в которых содержится не более 5 % $Fe_{общ}$, составили около 16 % $Fe_{гем}$. Наиболее высоких показателей обогащения удалось добиться при использовании на первой стадии винтового сепаратора, а на второй — винтового шлюза при разделении объединенного концентрата и промпродукта.

Опыты по доводке черновых концентратов винтовой сепарации осуществляли на концентрационном столе Holman-Wilfley. Достиженные результаты свидетельствуют о том, что при поступлении в питание стола черного концентрата с содержанием от 30 до 45 % $Fe_{общ}$ возможно получение коллективного железорудного концентрата с содержанием более 62 % $Fe_{общ}$ при извлечении в него порядка 80 % $Fe_{гем}$. Полученные показатели свидетельствуют в пользу выбора данной операции в качестве доводочной при переработке складированных хвостов АО «Олкон».

В процессе работы винтовых сепараторов и концентрационных столов, кроме концентрата и хвостов, образуются промежуточные продукты. По качеству объединенный промпродукт сопоставим с исходным питанием схемы, однако в нем сосредоточены сростки гематита с породообразующими минералами, а в материале крупностью более 0,315 мм практически весь гематит представлен сростками (рис. 3). Без доизмельчения и эффективного раскрытия сростков обогащение такого продукта будет затруднено, что было подтверждено рядом технологических опытов. С целью максимального раскрытия зерен гематита в промпродукте гравитационного обогащения проведено его доизмельчение до крупности $-0,2$ мм с использованием шаровой мельницы.

Полученный после измельчения промпродукт по своему составу и степени раскрытия сростков является благоприятным для гравитационного разделения, поскольку доля свободных

Рис. 4. Рекомендуемая технологическая схема получения гематитового концентрата из складированных хвостов АО «Олкон»:

- 1, 6 — грохот; 2 — винтовой сепаратор; 3, 7 — винтовой шлюз; 4, 8 — концентрационный стол; 5 — шаровая мельница

зерен гематита в нем составила 95 %, а выход класса крупностью $-0,071$ мм не превысил 17 %. Последующее изучение материала сростков показало, что они, как правило, представлены редкими труднораскрываемыми микровключениями гематита в кварце размером от 3–5 до 20, реже — 30 мкм.

Для обогащения измельченного промпродукта использовали операции винтовой сепарации на шлюзе с последующей перемешкой черного концентрата шлюза на концентрационном столе. В результате разделения на винтовом шлюзе были выделены черновой концентрат, промпродукт и отвальные хвосты с извлечением по гематитовому железу 65,6; 18,2; 16,2 % и содержанием 12,1; 1,6 и 1,3 % $Fe_{гем}$ соответственно. Полученный промпродукт характеризуется довольно низким содержанием общего железа — 6,8 % и гематитового железа — 1,6 %, поэтому целесообразно его объединить с отвальными продуктами, что незначительно увеличит потери железа с хвостами, но уменьшит число дальнейших перемешивающих операций. Доводка черного концентрата винтового шлюза концентрацией на столе позволяет получить концентрат кондиционного качества с содержанием железа общего 62 % при извлечении гематита 78 % от операции.

Технологическая схема получения гематитового концентрата из складированных хвостов представлена на рис. 4.

Предварительно материал хвостохранилища подвергают классификации по классу крупности 1 мм для удаления непродуктивной фракции и крупных кусков породы размером до 12 мм. В качестве основной операции в голове процесса используют двухстадийную винтовую сепарацию. Эффективность данного метода обогащения была подтверждена серией технологических лабораторных опытов. Доводку черного концентрата винтовой сепарации осуществляют концентрацией на столе, что обеспечивает получение кондиционного гематитового концентрата.

С целью раскрытия сростков рудных минералов предусмотрено доизмельчение гравитационного промпродукта до крупности $-0,2$ мм, обогащение которого производится в дальнейшем с использованием винтового шлюза и концентрационного стола.

Разработанная технология обогащения складированных хвостов обеспечивает выделение гематитового концентрата с выходом — около 7 % исходного питания, содержанием общего железа — более 62 % при сквозном извлечении гематитового железа на уровне 76 %.

При годовой производительности предприятия по исходному питанию в объеме 2 млн т выход коллективного железорудного концентрата будет обеспечен на уровне 180 тыс. т. По предварительным расчетам, ожидаемый годовой экономический эффект от прироста продукции при реализации рекомендуемой технологии составит более 150 млн руб. Средний срок окупаемости проекта при условии использования действующей инфраструктуры АО «Олкон» не превысит 3–4 лет.

Заключение

В процессе изучения вещественного состава представительной пробы складированных хвостов АО «Олкон» выявлено, что данный материал является благоприятным для гравитационного обогащения вследствие низкого содержания частиц шламовой

крупности, существующего различия между плотностью ценных и породообразующих минералов и малого содержания сростков гематита с пустой породой.

Рассмотрены перспективы использования процессов винтовой сепарации и концентрации на столах для выделения из данной пробы гематитовых концентратов. Двухстадийная винтовая сепарация в голове процесса обогащения позволяет выделить черновой концентрат с содержанием около 33 % $Fe_{общ}$ при извлечении в него около 70 % $Fe_{гем}$, дообогащением которого концентрацией на столе достигается получение концентрата, содержащего более 62 % $Fe_{общ}$. Для раскрытия сростков гематита с породными минералами рекомендовано доизмельчение промпродукта винтового шлюза, что в дальнейшем способствовало получению из него кондиционного гематитового концентрата посредством совместного применения винтового шлюза и концентрационного стола.

Проведенные исследования по созданию перспективной технологии обогащения складированных отходов АО «Олкон» показывают, что вовлечение в переработку данного техногенного сырья позволит расширить минерально-сырьевую базу предприятия и обусловит выпуск дополнительных объемов концентрата с содержанием 62 % $Fe_{общ}$ при повышении полноты извлечения гематита до 75 %.

Библиографический список

1. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы / под ред. Б. К. Михайлова. — М.: Научный мир, 2012. — 234 с.
2. Дерягин А. А., Котова В. М., Никольский А. Л. Оценка перспектив вовлечения в эксплуатацию техногенных месторождений // Маркшейдерия и недропользование. 2001. № 1(1). С. 15–18.
3. Голик В. И., Полухин О. Н. Концепция извлечения металлов из хвостов переработки железных руд // Проблемы подземной разработки рудных месторождений КМА. — М.: Горная книга, 2013. С. 23–39.
4. Аргимбаев К. Р., Корнев А. В., Холодняков Г. А. Обоснование возможности вовлечения в переработку железосодержащих хвостов с последующим окискованием полученных концентратов // Записки Горного института. 2013. Т. 206. С. 120–124.
5. Кретов С. И., Губин С. Л., Игнатова Т. В., Сентемова В. А., Безнозова Ю. С. Испытания технологии получения гематитовых концентратов из хвостов обогатительной фабрики ОАО «Михайловский ГОК» // Обогащение руд. 2007. № 6. С. 20–24.
6. Белобородов В. И., Захарова И. Б., Андронов Г. П., Филимонова Н. М., Бармин И. С. Опыт обогащения техногенного фосфорсодержащего сырья в ОАО «Ковдорский ГОК» // Горный журнал. 2010. № 9. С. 96–97.
7. Юшина Т. И., Крылов И. О., Валавин В. С., Сыса П. А. Исследование возможности получения железосодержащего продукта для технологии РОМЕЛТ из отходов производственной деятельности Камыш-Бурунского ГОКа // Горный журнал. 2017. № 6. С. 53–57. DOI: 10.17580/gzh.2017.06.10
8. Целик Д. И., Жукова В. Е., Ожогина Е. Г., Якушина О. А., Целик И. Н. Минералогические особенности хвостов мокрой магнитной сепарации железных руд и перспективы извлечения из них железа // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 4. С. 412–424.
9. Dauce P. D., de Castro G. B., Lima M. M. F., Lima R. M. F. Characterisation and magnetic concentration of an iron ore tailings // Journal of Materials Research and Technology. 2019. Vol. 8. Iss. 1. P. 1052–1059.
10. Hanumantha Rao K., Narasimhan K. S. Selective flocculation applied to Barsuan iron ore tailings // International Journal of Mineral Processing. 1985. Vol. 14. Iss. 1. P. 67–75.
11. Wang Yuhua, Ren Jianwei. The flotation of quartz from iron minerals with a combined quaternary ammonium salt // International Journal of Mineral Processing. 2005. Vol. 77. Iss. 2. P. 116–122.
12. Song S., Lu S., Lopez-Valdivieso A. Magnetic separation of hematite and limonite fines as hydrophobic flocs from iron ores // Minerals Engineering. 2002. Vol. 15. Iss. 6. P. 415–422.
13. Chao Li, Henghu Sun, Jing Bai, Longtu Li. Innovative methodology for comprehensive utilization of iron ore tailings: Part 1. The recovery of iron from iron ore tailings using magnetic separation after magnetizing roasting // Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 174. Iss. 1–3. P. 71–77.
14. Güngör K., Atalay M. Ü., Sivrikaya O. Production of magnetite concentrate from iron ore tailings // Proceedings of the XIV Balkan Mineral Processing Congress. — Tuzla : Off-Set Tuzla, 2011. Vol. 1. P. 331–337.
15. Fontes W. C., Franco de Carvalho J. M., Andrade L. C. R., Segadães A. M., Peixoto R. A. F. Assessment of the use potential of iron ore tailings in the manufacture of ceramic tiles: From tailings-dams to «brown porcelain» // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 206. P. 111–121.
16. Chang Tang, Keqing Li, Wen Ni, Duncheng Fan. Recovering Iron from Iron Ore Tailings and Preparing Concrete Composite Admixtures // Minerals. 2019. Vol. 9. Iss. 4. 232. DOI: 10.3390/min9040232
17. Li Weishi, Lei Guoyuan, Xu Ya, Huang Qifei. The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low-silicon iron ore tailings // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 204. P. 685–692.
18. Galvão J. L. B., Andrade H. D., Brigolini G. J., Peixoto R. A. F., Mendes J. C. Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 200. P. 412–422.
19. Darezereshki E., Darban A. K., Abdollahy M., Ahmadjamshidi A. Synthesis of magnetite nanoparticles from iron ore tailings using a novel reduction-precipitation method // Journal of Alloys and Compounds. 2018. Vol. 749. P. 336–343.

20. Лоцманов В. А., Дмитриенко А. Н., Киселева Т. М., Марков А. Ю. Опыт обогащения отвальных хвостов дробильно-обогатительной фабрики Оленегорского ГОКа // Горная промышленность. 2003. № 3(45). С. 42–46.
21. Хошуля М. С., Опалев А. С., Рухленко Е. Д., Фомин А. В. Получение магнетит-гематитового концентрата из железистых кварцитов и складированных отходов их обогащения на основе минералого-технологических исследований // ГИАБ. 2017. № 4. С. 259–271.
22. Хошуля М. С., Фомин А. В., Карпов И. В., Контурин Т. А. Обоснование целесообразности вовлечения в переработку складированных хвостов АО «Олкон» применением

- комбинированной технологии обогащения // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения-2017) : матер. междунар. науч. конф. – Красноярск : Сибирский федеральный ун-т, 2017. С. 336–339.
23. Прокопьев С. А., Пелевин А. Е., Напольских С. А., Гельбинг Р. А. Стадиальное выделение магнетитового концентрата с использованием винтовой сепарации // Обогащение руд. 2018. № 4. С. 28–33. DOI: 10.17580/or.2018.04.06
24. Пелевин А. Е. Получение гематитового концентрата из гематит-магнетитовых руд // ГИАБ. 2020. № 3-1. С. 422–430. [ГЖ](#)

«GORNYI ZHURNAL», 2020, № 9, pp. 85–90

DOI: 10.17580/gzh.2020.09.12

Resource-saving technology for hematite concentration from storage mill tailings at Olkon Mining and Processing Works

Information about authors

M. S. Khokhulya¹, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences, m.hokhulya@ksc.ru

A. V. Fomin¹, Researcher

S. A. Alekseeva¹, Researcher

I. V. Karpov¹, Leading Technologist

¹Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract

Secondary treatment of storage mill tailings is an urgent and promising task, for the quality of produced ore is constantly decreasing while the resources of operating mines and preps are progressively reducing. It is also a paramount objective to mitigate anthropogenic impact on the environment. Mining and processing waste in Russia features a huge mineral resource potential. An important advantage is that the cost of commercial products manufactured from industry waste is significantly lower than in case of minerals extracted by traditional mining methods, since minerals have to pass an energy-intensive grinding process. In this respect, it is of practical relevance to set upon the secondary treatment of iron bearing waste accumulated at Olkon JSC as a result of ferruginous quartzite processing.

The article presents the results of laboratory tests on beneficiation of stored waste from the main tailings pond at Olkon JSC with subsequent production of hematite concentrate. The composition of the representative tailings sample is studied. The principal ore mineral containing 8.8% of total iron and 3.7% of hematite iron has been found to be hematite, which is due to the imperfection of the existing technology for separation of hematite concentrate using diaphragm jig machines that fail to ensure efficient separation of fine mineral fractions. The authors have developed a gravitational technology for processing storage waste by screw separation and table concentration. The article justifies introduction of screening and grinding operations for the gravity concentration middlings with the aim of selective dissociation of ore mineral grains. The recommended technology ensures production of hematite concentrate with an iron content of more than 62% at the end-to-end recovery of hematite iron of about 76%.

The results confirm exploitability of mining and processing waste and prove producibility of high-quality hematite concentrate from ore mill tailings in terms of a certain mining and processing company.

Keywords: mining and processing waste, tailings, ferruginous quartzite, hematite concentrate, gravity concentration, screw separation, table concentration.

References

1. Mikhaylov B. K. (Ed.). Man-made Mineral Resources. Moscow : Nauchnyi mir, 2012. 234 p.
2. Deryagin A. A., Kotova V. M., Nikolskiy A. L. The assessment of prospects of technogenic deposits development. *Marksheyderiya i nedropolzovanie*. 2001. No. 1(1). pp. 15–18.
3. Golik V. I., Polukhin D. N. The concept of extraction of metals from iron ore tailings. *Problems of underground mining in the Kursk Magnetic Anomaly*. Moscow : Gornaya kniga, 2013. pp. 23–39.
4. Argimbaev K. R., Korneev A. V., Kholodnyakov G. A. Substantiation of the possibility of involvement in processing of the iron-containing tails with the subsequent clotting of the obtained concentrates. *Journal of Mining Institute*. 2013. Vol. 206. pp. 120–124.
5. Kretov S. I., Gubin S. L., Ignatova T. V., Sentemova V. A., Beznogova Yu. S. Testing of technology for hematite concentrates production from the Mikhailovsky mining complex concentrator tailings. *Obogashchenie Rud*. 2007. No. 6. pp. 20–24.

6. Beloborodov V. I., Zakharova I. B., Andronov G. P., Filimonova N. M., Barmin I. S. Experience of beneficiation of technogenic phosphorus-bearing raw materials at Kovdor mining processing plant. *Gornyi Zhurnal*. 2010. No. 9. pp. 96–97.
7. Yushina T. I., Krylov I. O., Valavin V. S., Syta P. A. Producibility of iron-bearing materials from industrial waste of Kamys-Burun Iron Ore Plant using ROMELT process. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 6. pp. 53–57. DOI: 10.17580/gzh.2017.06.10
8. Tselyuk D. I., Zhukova V. E., Ozhogina E. G., Yakushina O. A., Tselyuk I. N. Mineralogo-tehnologicheskyye feyturey tails of wet magnetic separation of the iron ores and prospect of extraction of iron from them. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Ser. Tekhnika i tekhnologii*. 2013. Vol. 6, No. 4. pp. 412–424.
9. Dauce P. D., de Castro G. B., Lima M. M. F., Lima R. M. F. Characterisation and magnetic concentration of an iron ore tailings. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019. Vol. 8, Iss. 1. pp. 1052–1059.
10. Hanumantha Rao K., Narasimhan K. S. Selective flocculation applied to Barsuan iron ore tailings. *International Journal of Mineral Processing*. 1985. Vol. 14, Iss. 1. pp. 67–75.
11. Wang Yuhua, Ren Jianwei. The flotation of quartz from iron minerals with a combined quaternary ammonium salt. *International Journal of Mineral Processing*. 2005. Vol. 77, Iss. 2. pp. 116–122.
12. Song S., Lu S., Lopez-Valdivieso A. Magnetic separation of hematite and limonite fines as hydrophobic flocs from iron ores. *Minerals Engineering*. 2002. Vol. 15, Iss. 6. pp. 415–422.
13. Chao Li, Henghu Sun, Jing Bai, Longtu Li. Innovative methodology for comprehensive utilization of iron ore tailings: Part 1. The recovery of iron from iron ore tailings using magnetic separation after magnetizing roasting. *Journal of Hazardous Materials*. 2010. Vol. 174, Iss. 1-3. pp. 71–77.
14. Güngör K., Atalay M. Ü., Sivrikaya O. Production of magnetite concentrate from iron ore tailings. *Proceedings of XIV Balkan Mineral Processing Congress*. Tuzla : Off-Set Tuzla, 2011. Vol. 1. pp. 331–337.
15. Fontes W. C., Franco de Carvalho J. M., Andrade L. C. R., Segadães A. M., Peixoto R. A. F. Assessment of the use potential of iron ore tailings in the manufacture of ceramic tiles: From tailings-dams to «brown porcelain». *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 206. pp. 111–121.
16. Chang Tang, Keqing Li, Wen Ni, Duncheng Fan. Recovering Iron from Iron Ore Tailings and Preparing Concrete Composite Admixtures. *Minerals*. 2019. Vol. 9, Iss. 4. 232. DOI: 10.3390/min9040232
17. Li Weishi, Lei Guoyuan, Xu Ya, Huang Qifei. The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low-silicon iron ore tailings. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 204. pp. 685–692.
18. Galvão J. L. B., Andrade H. D., Brigolini G. J., Peixoto R. A. F., Mendes J. C. Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 200. pp. 412–422.
19. Darezereshki E., Darban A. K., Abdollahy M., Ahmadjamshidi A. Synthesis of magnetite nanoparticles from iron ore tailings using a novel reduction-precipitation method. *Journal of Alloys and Compounds*. 2018. Vol. 749. pp. 336–343.
20. Lotsmanov V. A., Dmitrienko A. N., Kiseleva T. M., Markov A. Yu. Experience of crush-and-mill tailings processing at Olenegorsk Mining and Processing Plant. *Gornaya promyshlennost*. 2003. No. 3(45). pp. 42–46.
21. Khokhulya M. S., Opalev A. S., Rukhlenko E. D., Fomin A. V. Production of magnetite-hematite concentrate from ferruginous quartzites and warehoused tailings based on mineralogy and technology studies. *GIAБ*. 2017. No. 4. pp. 259–271.
22. Khokhulya M. S., Fomin A. V., Karpov I. V., Konturina T. A. Justification of mixed dressing technology for storage mill tailings at Olkon Mining and Processing Works. *Current problems of integral processing of complex ores and technogenic raw materials (Plaksin's Lectures-2017) : Proceedings of the international conference*. Krasnoyarsk : Sibirskiy federalnyy universitet, 2017. pp. 336–339.
23. Prokopyev S. A., Pelevin A. E., Napolskikh S. A., Gelbing R. A. Staged screw separation of magnetite concentrate. *Obogashchenie Rud*. 2018. No. 4. pp. 28–33. DOI: 10.17580/or.2018.04.06
24. Pelevin A. E. Production of hematite concentrate from hematite-magnetite ore. *GIAБ*. 2020. No. 3-1. pp. 422–430.