

ском комплексе второй стадии измельчения магнитной сепарации железных руд, является естественным автоматическим анализатором степени раскрытия железной руды;

мерой раскрытия руды измельчением является массовая доля железа в концентрате магнитного сепаратора, которая обратно пропорциональна крупности частиц твердой фазы пульпы в разгрузке шаровой мельницы. Это позволяет непосредственно управлять раскрытием руды измельчением путем изменения скорости движения руды в мельнице регулированием расхода воды в мельницу;

массовая доля железа в концентрате магнитного сепаратора и радиальная составляющая напряженности магнитного поля в рабочей зоне сепаратора обратно пропорциональны степени раскрытия и крупности помола руды в шаровой мельнице;

регулирование плотности пульпы в разгрузчике шаровой мельницы по величине радиальной составляющей напряженности магнитного поля в рабочей зоне магнитного сепаратора, последовательно соединенного с шаровой мельницей, можно использовать в качестве управляющего воздействия раскрытия железной руды во второй стадии измельчения магнитной сепарации.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в экспериментальной проверке полученных в результате моделирования теоретических зависимостей и разработке на их основе системы автоматического контроля и регулирования раскрытия руды в шаровой мельнице второй и третьей стадии измельчения.

Список литературы

1. Справочник по обогащению руд: обогатительные фабрики / Под ред. **О. С. Богданова**. – М.: Недра 1994. – т.4 – 346 с.

2. Метод автоматического контроля массовой доли железа в концентрате магнитного сепаратора / **Кочура Е. В., Ислам Абдельхамид Юсеф Аль Бостанжи** // Науковий вісник НГУ. – 2005. – №10. – С. 86-89.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.13

УДК 622.766

Н.В. КУШНІРУК, канд.техн.наук, доц.,

В.В. КОМОГОРЦЕВА, магістр ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ОКИСЛЕНИХ ЗАЛІЗНИХ РУД У ВІТЧИЗНЯНІЙ І ЗАРУБІЖНІЙ ПРАКТИЦІ

Виконано аналіз розроблених та введених до експлуатації технологій збагачення окислених залізних руд в Україні та за її межами. Виявлені найбільш прогресивні технологічні рішення в схемах та устаткуванні, що використовуються. Визначенні основні напрямки подальших досліджень і конструктивних розробок.

Постановка проблеми. Стрімкий зріст чорної металургії потребує підсиленого розвитку видобутку залізорудної сировини із залученням у переробку залізистих кварцитів, які видобуваються. Від якості концентрату і підготовлених з нього агломерату та обкотишів залежать техніко-економічні показники роботи металургійних підприємств і собівартість металу. Однією з альтернативної сировини є окислені залізисті руди. Тому освоєння збагачення даного виду сировини в Україні та за її межами є однією з найважливіших задач, що стоять перед залізорудною промисловістю. Оскільки ці руди у ряді випадків видобувають разом з магнетитовими кварцитами, в якості розкривних порід та складають їх у відвали, вони складають дуже великі перспективні запаси залізних руд, що дають можливість розширити сировинну базу металургійної промисловості.

Світовий огляд технології збагачення показує можливість отримання концентрату з окислених залізних руд використовуючи різні методи збагачення та отримання концентрату з вмістом цінного компоненту до 64 %.

Для одержання залізорудних концентратів високої чистоти кращою вихідною сировиною можуть служити багаті окислені руди підземного видобутку.

Аналіз досліджень і публікації. На зарубіжних фабриках застосовують найрізноманітніші методи збагачення окислених залізних руд: промивку, збагачення на відсадкових машинах, гвинтових сепараторах, у важких суспензіях; флотаційне збагачення, магнітне збагачення в сильному магнітному полі на індукційно-роликівих і поліградієнтних сепараторах, електричну сепарацію. Ведуться розробки нових конструкцій устаткування для магнітного збагачення в сепараторах з надпровідною магнітною системою і іншого устаткування.

Проблема залучення в переробку окислених залізистих кварцитів виникла більше 35 років

тому з введенням в експлуатацію перших гірничо-збагачувальних комбінатів з видобутку та переробці магнетитових кварцитів. Більшість родовищ магнетитових руд має зону окислення різної глибини. Запаси окислених залізистих кварцитів в Кривбасі і КМА складають 15-20 % загальних запасів залізистих кварцитів. В умовах, коли глибина кар'єрів магнетитових руд - 1100 м, окислений залізняк повинен розглядатися як основне джерело сировини для нарощування і підтримки потужностей гірничо-збагачувальних комбінатів.

Постановка завдання. Для розробки оптимальної схеми збагачення окислених залізних руд необхідно зробити аналіз світової практики залучення до виробництва даного виду сировини. Проаналізувати позитивні та негативні сторони кожної зі схем, що дозволить визначитися з напрямком подальших досліджень.

Викладення матеріалу та результати. В теперішній час за кордоном в промисловому масштабі для обробки дуже тонковкраплених окислених кварцитів застосовується тільки флотаційне збагачення на збагачувальній фабриці - Тілден (США) [1].

При збагаченні руди на фабриці Тілден застосовують зворотню катіонну флотацію (при $\text{pH}=11,8$) з попередньою селективною флокуляцією оксидів заліза і знешламленням для видалення диспергованих порідних шламів (при $\text{pH}=11,0-11,5$, за іншими даними $\text{pH}=10,5-11,0$) [2].

У практиці збагачення гематитових руд за кордоном поширення набули пряма і зворотна флотації. На фабриці Гроувленд, яка включає попередню мокру магнітну сепарацію і флотацію хвостів магнітної сепарації використовують наступні реагенти: збирачі - жирні кислоти, сульфований гас 899, зпінювач - мазут, регулятор середовища - сірчана кислота і депресор - силікат натрію. Флотація ведеться в кислому середовищі при $\text{pH}=5,6$.

Було також виявлено, що окислені середньовкрапленні кварцити збагачують (на фабриці Ріпаблік, США) методом прямої аніонної флотації. При крупності подрібнення 0,2(0,3) мм (45-50% класу мінус 0,044 мм) з виділенням концентрату з масовою часткою заліза 62 %. Частина концентрату (без його подрібнення) підлягає доведенню методом знешламлення, частина подрібненого (до 80 % класу мінус 0,044 мм) концентрату - флотаційному доведенню при температурі пульпи 99°C також з подальшим знешламленням [4].

Для підготовки руди до флотації застосовують схему стадійного дроблення і стандартного подрібнення в стержньових і кульових млинах. При цьому з руди зі з масовою часткою Fe 36-39 % одержують концентрат з 65,3% при достатньо високому (84,3%) вилученні заліза.

На фабриці Бразилії, що переробляє крупновкраплену гематит-ітабіритову руду, що зі вмістом заліза загального 40-50 %, в останні декілька років отримало розвиток збагачення ітабіритів з використанням магнітної сепарації в сильному полі на поліградієнтних сепараторах Джонса, що дозволяє отримати концентрат якістю 68-69 %. За вмістом заліза ці руди близькі до окислених кварцитів середньої якості, що залягають в полях шахт Криворізького басейну і містять 40-42% Fe. Проте дуже істотна відмінність цих руд від вітчизняних полягає в тому, що вони містять дуже мало гідроокислів заліза, містять гематит з незначними домішками лімоніту. Крім того, руди, що добуваються в теперішній час - це дуже м'які, вивітрілі руди, що легко руйнуються. Крупність їх після добичі складає мінус 25 мм. Криворізькі кварцити - тверді руди. Оскільки це смугасті руди з дуже м'якими порідними шарами, то вже простим грохоченням руди, дробленою до мінус 6 мм, вдається виділити багатий товарний продукт (аглороду) крупністю 1-6 мм, що містить 66 % заліза загального. Збагаченню на поліградієнтних сепараторах Джонса піддають тільки клас мінус 1 мм, виділений в процесі мокрого грохочення (після його знешламлення у гідроциклонах за класом 0,1 мм і зневоднення пісків гідроциклона на гуркоті) [5].

Іншим методом збагачення, який почали застосовувати в 1975 р. в Австралії є випал-магнітне збагачення з випаленням в печах з киплячим шаром і магнітною сепарацією в слабому полі. За даними з руди, яка містить близько 50 % заліза загального одержують концентрати з масовою часткою 66 %. Можна припустити, що використання цього методу обумовлено відсутністю води в умовах сухого і жаркого клімату, оскільки витрати води для флотаційного збагачення всієї маси руди може бути більш високою, ніж при використанні випал-магнітного збагачення і сухого дроблення руди. Можна також припустити, що ці кварцити по збагачуваності більш близькі кварцитам шахтних полів Криворізького басейну, але ймовірно більш легко розкриваються.

Вилугувані грубозернисті (змінені) окислені руди середньої якості району Месабі, США містять 40-50 % Fe і 25-12% SiO_2 , які залягають на межах рудних тіл, представлених багатими «доменними рудами», що містять більше 50 % заліза і менше 10-12% кремнезему. Ці вилугувані руди середньої якості, збагачені промивкою і гравітаційними методами отримали назву «промивних і гравітаційних». У ряді випадків на промивних і гравітаційних фабриках за тими ж схемами збагачують руди, що містять менше 40 % заліза загального, тобто віднесені до категорії бідних руд. Це, головним чином бідні руди, що видобуваються в районі Месабі (США) із

старих відвалів або бортів відпрацьованих кар'єрів. Оскільки принципово вони не відрізняються ні мінералогічним складом, ні застосованими схемами збагачення [6,7].

Разом з гематитом і мартитом вони звичайно містять і гетит, а іноді і лімоніт. Ці руди близькі до вилугуваних руд середньої якості і бідним, що залягають в полях шахт Криворізького басейну, а також рудам, збагаченим на при шахтних збагачувальних фабриках [8].

Для збагачення цих руд звичайно застосовують подрібнення, грохочення, промивку, а також збагачення у важких суспензіях. Крупний клас (40-6 мм) збагачують в барабанних сепараторах з феросіліцієвим обважнювачем, дрібний клас (6-0,2 мм) - в гідроциклонах з важкою суспензією або відсадкою. Клас крупністю мінус 0,2мм збагачують на гвинтових сепараторах. В результаті одержують концентрати з масовою часткою заліза 52-60% і не більше 10% кремнезему [9].

До масивних щільних руд можуть бути віднесені багаті окислені руди, зі вмістом заліза від 50 до 60 %, що видобуваються в районі Верхнього озера, США (Мак-Кінлі, Хол Раст), а також ще більш багаті руди, що містять 60% заліза загального і видобуваються в Ліберії (рудник Німба - фабрика Бьюкенен), Свaziленде (рудники фабрики Кастл Блок) і ЮАР (рудники і фабрики в Табазімбі і Сисен-Постмассбурге) [10, 11].

Ці руди, особливо руди Верхнього озера США, подібні багатим рудам Криворізького басейну, не збагачуються на даний час.

Збагачення дуже багатих окислених руд, що містять більше 60 % заліза, на зарубіжних фабриках пов'язано з вимогами до концентрату за вмістом кремнезему, яке не повинне перевищувати 5 %. Збагачення багатих кускових руд у важких суспензіях дозволяє знизити масову частку кремнезему з 10-15% до 3-8% і одержувати концентрат зі вмістом заліза 63-67 %.

Для землистих багатих легко шламуючихся руд застосовують метод зворотної катіонної флотації в лужному середовищі на фабриці Септ-Ілз в Канаді. Ці руди подібні «синьці» і фарбовим рудам, що добуваються в Криворізькому басейні. Багаті руди цього родовища, розроблялися і продовжують розроблятися рудником Шеффервіл.

Розробка способу збагачення цих руд дозволяє удвічі збільшити балансові запаси родовища, оскільки допускає залучення в обробку руд середньої якості, що містять до 40 % заліза загального.

На родовищі Ноб Лейк залягають руди декількох різновидів, відмінних за мінералогічним складом і якістю. «Сині руди» (запаси їх складають приблизно дві третини всіх запасів) містять залізо у формі масивного гематиту і мартиту [13, 14].

«Жовті руди» (1/6 запасів) містять переважно гідроокисли заліза і «червоні руди» (1/6 запасів) - представлені переважно червоним гематитом. Порода - переважно кварц, з домішками глинозему і гідроокислів, особливо в червоних рудах. Всі типи руд землисті, іноді зустрічаються більш грубозернисті «піскуваті-землисті руди» - це сині руди, червоні ж руди переважно шламисті, оскільки містять глинозем і гідроокисли заліза. Жовті руди можуть бути віднесені до будь-якої з цих груп, тобто вони можуть бути в деякій мірі піскуватими, якщо основним рудним мінералом є гетит, і шламистими, якщо в руді присутній лімоніт.

У зв'язку із виникненням нових методів збагачення окислених залізних руд розробляється нове обладнання для обробки цих руд. Науковими інститутами разом з іншими організаціями активно проводяться роботи із створення нових сепараторів, які б розв'язали проблему збагачення дрібних класів мінус 0,1 мм тонковкрапленої руди або шламів, що виділяються при промивці багатих руд.

У 80-і роки інститутом Механообрчермет спільно з іншими організаціями активно проводилися роботи із створення високоінтенсивних електромагнітних сепараторів з індукцією магнітного поля в робочій зоні 1,2-1,5 Тл для збагачення слабomagнітних руд. До серійного виробництва були доведені дві конструкції: сепаратор ВМС 100/2 (створений спільно з інститутом Гіпромашвуглезбагачення - м. Луганськ). Сепаратор ВМС 100/2 успішно експлуатується на Марганецькому ГЗКі при збагаченні марганцевих шламів [12,13].

У січні 1989р. на КЦГЗКі введена в експлуатацію випереджаюча секція магнітного збагачення окислених руд, що працювала за технологією КГЗКОРу з використанням сепараторів 6 ЕРМ-35/315 [14].

Слід зазначити, що цей сепаратор за декількома параметрами (індукція магнітного поля, технологічна надійність робочої зони, кількість прийомів сепарації) перевершує сепаратор Джонса, що отримав широке розповсюдження на ряді збагачувальних фабрик в США. Проектні показники за якістю концентрату і вилученню металу були досягнуті вже до кінця першого півріччя роботи секції. За період експлуатації на секції отримано більш 2,5 млн.т концентрату з окисленої руди.

Питання підвищення якості залізних руд підземної добичі Кривбасу до рівня світового ринку має першорядне значення як для стабілізації економічного і соціального розвитку регіону, так і для поліпшення екологічної ситуації.

На даний час на ДСФ шахт підвищення якості товарних руд забезпечується за технологічними схемами, які включають крупне, середнє і дрібне дроблення з подальшим грохоченням всієї маси руди за класом 10 мм [3].

За такими схемами підготовки підвищення якості товарної аглоруди на 4-6 % здійснюється за рахунок скидання кускової фракції плюс 10 мм, при втраті вилучення на 1 % якості товарної руди підвищується на 3-4 %, що приводить до значного зниження коефіцієнта використання надр і накопичення великої кількості відходів.

Новим підходом в рішенні питання підвищення якості товарних аглоруд і підвищення коефіцієнта використання надр є розробка сепаратора нового покоління, що забезпечує сепарацію окислених руд сухим способом в крупності товарної аглоруди 15-0 мм з використанням об'ємно-градієнтних магнітних полів, створюваних надпровідними магнітами з індукцією до і більше 4 Тл.

Виконані технологічні випробування для отримання ефективних режимів підвищення якості руд підземного видобутку шахт ім. Леніна, «Ювілейна», «Гвардійська», ім. Кірова.

Розроблені технологічні схеми, що включають роздільну сепарацію кускової і агломераційної фракцій, а також переробку всієї маси руди, включаючи кускову фракцію в крупності 15-0 мм з використанням сухого магнітного збагачення в об'ємно-градієнтних полях надпровідникових сепараторів з індукцією більше 3 Тл.

Реалізація запропонованих технологічних схем забезпечує підвищення виходу концентрату з 78,6% до 87% при масовій частці заліза 62,4% і 8,4% відповідно і отримання хвостів збагачення з масовою часткою заліза 35,5%.

При збагаченні окислених залізистих кварцитів найбільший інтерес представляє технологія, заснована на магнітному збагаченні в сильному полі. Переваги цієї технології безперечні, але в той же час неможливо одержати високоякісний концентрат [11].

Для інтенсифікації процесу магнітного збагачення окислених кварцитів розроблений спосіб направленої зміни їх магнітних властивостей.

Для підвищення ефективності магнітного збагачення окислених кварцитів були проведені випробування зі створення магнітного агрегату феромагнетик-парамагнетик. Вибірковість і інтенсивність взаємодії частинок слабомагнітних рудних мінералів з магнетитом збільшується при введенні органічних реагенто-збирачів. Катіони діаманітної міді, закріплюючись на поверхні породоутворюючих мінералів, сприяють зниженню засмічення концентрату.

Висновки та напрямки подальшого дослідження. Найбільш розповсюджена за кордоном отримало збагачення методом зворотної катіонної флотації з попередньою селективною флокуляцією шламів. Дослідженнями доведена перспективність застосування комбінованих магніто-флотаційних схем збагачення з магнітною сепарацією в сильному полі. За такою технологією можливо отримати концентрат з вмістом заліза до 64 %. Але цей спосіб збагачення істотно забруднює навколишнє середовище та застосування флотаційних реагентів потребує великих затрат.

Отже, для збагачення Криворізьких окислених кварцитів підземної видобутку доцільно розробити технологію, що дозволить знищити шкідливий вплив на зовнішню середу, та отримати конкурентоспроможний концентрат. Для цього необхідно детально вивчити речовинний та гранулометричний склад сировини, її фізико-механічні властивості, які будуть суттєво впливати на процес збагачення.

Список літератури

1. Кармазин В.И., Остапенко П.Е. Опыт получения концентратов высокой чистоты из бедных железных руд//Горный журнал. – 1961. - № 5. – С.62-67.
2. Шаденко А.А., Свиридов В.И., Яровая Т.И. Повышение качества магнетитового концентрата на обогатительной фабрике//Горный журнал. – 2002. - № 2. – С.12-16.
3. Гапич Т.Н., Герасимова З.Ф. Анализ фазового распределения железа в промышленных продуктах обогащения//Обогащение руд черных металлов. – М.: Недра, 1976. – С.89-96.
4. Дмитриенко Н.И., Киселева Т.М. Опыт работы обогатительной фабрики Оленегорского ГОКа//Горный журнал. – 1999. - № 8. – С.48-50.
5. Остапенко П.Е., Карпов И.И. Глубокое обогащение железистых кварцитов. – Днепропетровск: Промінь, 1965. – 22 с.
6. Алейников Н.А. Получение высококачественных магнетитовых концентратов в магнитных полях малой напряженности//Обогащение руд и проблема безотходной технологии. – Л.: Наука. – 1980. – С.73-75.
7. Демьяненко И.З., Гушинская П.Г., Лиморенко Г.И. Технология обогащения железной руды Десовского месторождения с учетом ее комплексного состава//Обогащение руд. – 1983. - № 6. – С.12-13.
8. Темченко А.Г., Максимова О.С. Визначення меж продуктивності гірничорудного підприємства в умовах змінного попиту//Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КТУ. - 2005 - С.147-151.
9. Гольман А.М. Общие вопросы применения химико-металлургических процессов в комбинированных схемах обогащения//Новые процессы в комбинированных схемах обогащения полезных ископаемых. – М.: Наука. – 1989. – С.4-11.
10. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. – М.: Недра, 1977. – 274 с.
11. Горобец Л.Ж., Дуброва С.Б. Оценка энергетических параметров горных пород на стадии саморазрушения//Деформирование и разрушение горных пород. – Бишкек: Илим. – 1990. – С.350-358.
12. Дмитриев Э.В., Кравченко В.М. Процессы глубинного выветривания и зональность их проявления в Сакаганском районе Кривого Рога//Геология рудных месторождений. – 1965. - № 5. – С.76-89.

13. **Тангаев А.И.** Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 211 с.

14. **Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с.

Рукопис подано до редакції 18.03.13

УДК 621.74: 669.131.7

В.В. ЛУНЬОВ, докт. техн. наук, проф.

ДВНЗ «Запорізький національний технічний університет»

А.С. АМЕЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., В.В. ВАСИЛЬЄВ, магістр

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ВИЛИВОК З ВИСОКОМІЩНОГО ЧАВУНУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ СЛУЖБОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Виконано дослідження серійних чавунних виливків для теплоенергетичного господарства типу «фітинг» із ВЧ-45 та ВЧ-45 легованого молібденом та сурьмою, обрано оптимальні методики для їх ультразвукового обстеження, зроблено висновки що до відмінності у властивостях та особливостях проникнення ультразвукових хвиль.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Виробництво теплоенергетичного устаткування є важливим економічним і екологічним завданням. Це визначає актуальність завдання підвищення надійності і довговічності роботи і коефіцієнта корисної дії енергетичного устаткування, у тому числі і теплообмінників, фітингів та ін.. Надійність і економічність роботи цих агрегатів визначається працездатністю радіаторів - вузлів, що працюють в умовах підвищених тисків і в агресивному середовищі.

Теплообмінники підрозділяються на промислові і побутові. Випуск побутових радіаторів уперше був налагоджений ще в 40-х роках на Московському чавуноливарному заводі ім. Войкова (Росія)[1]. Були створені різні типи радіаторів, розроблені технології їх виробництва.

Особливі вимоги при литті радіаторів та фітингів пред'являються до металу виливка. Сплав повинен володіти:

- міцністю;
- зносостійкістю;
- корозійною стійкістю;
- герметичністю.

Такими матеріалами зазвичай служать сталь, чавун і деякі кольорові сплави. Проте, висока вартість сталі і кольорових сплавів, а також низькі ливарні властивості цих сплавів обмежують широке їх застосування в якості матеріалу для виливків гідросистем і теплоенергетичного устаткування. Найбільш широке застосування при виготовленні фітингів отримав чавун, як дешевший, доступніший і хороший ливарний матеріал [2]. Однією з основних вимог, що пред'являються до чавуну, є його герметичність.

З метою вивчення герметичності чавунів багатьма дослідниками були проведені ряд дослідів, які проливають світло на природу герметичності чавунів. Герметичність визначають різними способами: мінімальною товщиною стінки, що витримує заданий тиск, максимальним тиском до появи течії, витратою рідини і газу через стінку певної товщини при постійному тиску, тому неможливо зіставити результати окремих дослідників.

Так, наприклад, Г. Тамман і Г. Брейдемейер запропонували метод визначення пористості чавуну фарбувальними речовинами.

У США застосовується електропневматичний метод випробування на герметичність. Швидкість витоку стислого повітря з порожнини виливка контролюється електричними датчиками. Метод придатний для перевірки різних за об'ємом зразків при різних тисках і дозволяє якісно оцінити герметичність, автоматизувати процес випробування і автоматично сортувати виливки по герметичності.

Герметомер, створений в Санкт-Петербурзькому політехнічному інституті (Росія), заснований на визначенні кількості газу, що просочився через стінку зразка за певний час. Герметичність визначають з досить високою точністю. Недолік - низька продуктивність і необхідність