

6,22% при вилученні вуглецю 96,94%. Вихід концентрату склав 8,04%; вихід тигельного продукту - 3,30% з зольністю 4,33%. При скороченні кількості перечисток концентрату до трьох зольність готового концентрату підвищується до 8,19% при деякому збільшенні вилучення графіту. Результати цих дослідів свідчать про стабільність процесу флотації графіту з досліджуваної руди. В результаті проведених досліджень доведена можливість підвищення якості концентрату на 1,2% та зменшення зольності на 0,99%.

Висновки і напрямки подальшого дослідження. Для збагачення бідної графітової сировини Заваллівського родовища прийнята технологічна схема, яка включає основну флотацію, що знаходиться у замкнутому циклі з п'ятьма перечистками промпродуктів і подрібненням концентрату першої перечистки при оптимізованих витратах рідкого скла 1 кг/т, керосину 0,26 кг/т і Т-66 0,14 кг/т, що дозволяє з руди з вмістом вуглецю 7,93 % отримано графітовий концентрат з вмістом вуглецю 93,39% і золи 6,22% при вилученні вуглецю 96,94%.

Список літератури

1. Разумов К.А. Флотационный метод обогащения. Л.: ЛГУ, - 1975.
2. Смирнов В.С., Білецький В.С. Флотационні методи збагачення корисних копалин. Донецьк: Східний видавничий дім – 2010.
3. Лабораторные методы исследования графитовых руд: Обзор/ А.Ф.Николаев, О.Ш.Аронскинд, Л.А.Свстигнесва, Н.Г.Худяков. – М., 1985.
4. Обогащение графитов СССР, 1932.
5. Абдурахманов Э.А., Донияров Н.А., Курс лекций по предмету «Технология обогащения нерудных полезных ископаемых», Навои – 2008.
6. Графиты Штирии(переклад №51556/5 з німецької мови), Книги Клара,1964.
7. Лузин В.П. Комплексные минералого-технологические исследования графитовых руд месторождения Чебере в республике Саха(Якутия)/Лузин В.П., Вафин Р.Ф., Пермьяков Е.Н., Кузнецов О.Б., Лузина Л.П., Губайдуллина А.М., Кузнецова В.Г., Ахиярова А.В.//ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г Казань, 2009.
8. Розинов А.І. Графитообогатительная фабрика. М. – Л. 1933.
9. Євтехов В.Д., Олійник Т.А., Кулаков Є.В. Пошук оптимальної технології збагачення графіт-вмісного пилу.//Вісник КТУ, 2003.
10. Разработка технологии и организации производства графита з графіт содержащей пыли металлургических производств: Отчет по НИР/ин-т Механообрчермет: руководитель работы Ю.А.Витовтов, Т.В.Дендюк, - 1315-90,- Кривой Рог, 1991.
11. Исследовательские возможности использования графит содержащей пыли металлургического производства для получения товарных марок графита в условиях ЗГК: Отчет/Завальевский комбинат: Руководители работы Н.Н.Заяц,В.Л.Хавин,Т.К.Левченко. – Завалье, 1982.
12. Олейник Т.А. Химическое обогащение графит содержащих продуктов / Олейник Т.А., Дзюба О.И., Харитонов В.Н., Кулаков Е.В. // Наукові праці Донецького національного університету. Донецьк, 2008. – вип. 15(131). – С. 139-151.
13. Томило В.М. Природный графит за рубежом, 1979.
14. Архипов В.С. Определение углерода и водовода в твердых горючих ископаемых. Томск: узд.ТПУ, 2010.
15. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологи. Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Шк.,1985.

Рукопис подано до редакції 24.03.14

УДК 622.7: 622.34

Л.В. СКЛЯР, канд.техн.наук, доц., О.А. САМОЙЛЮК, магістрант
Криворізький національний університет

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ БУРОЗАЛІЗНЯКОВИХ РУД У ВІТЧИЗНЯНІЙ І ЗАРУБІЖНІЙ ПРАКТИЦІ

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

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На даний час Україна займає одне з провідних місць у світовому балансі залізородної сировини за запасами, виробництвом, споживанням та експортом продукції. Світові розвідані запаси залізних руд склада-

ють на даний час близько 140 млрд т, в яких міститься близько 74 млрд т заліза. Однак поширення залізородних родовищ на планеті нерівномірне. Тільки три країни - Україна, Росія й Австралія володіють 46 % світових запасів заліза.

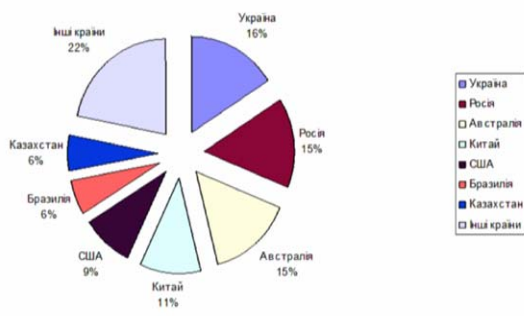


Рис. 1. Розподіл розвіданих запасів залізної руди країн світу

Основне промислове значення мають магнетитові руди з вмістом 31-35% заліза, з яких методом багатостадійної магнітної сепарації отримують концентрати з вмістом 65-68% заліза.

Виснаження запасів багаті сировини разом із підвищенням попиту на світовому ринку на високоякісні концентрати, змушують виробників залізородної продукції модернізувати свої технологічні схеми, шукати можливість їх вдосконалення, введення додаткових способів обробки, а також залучення у переробку важкозбагачувальних бурозалізнякових руд [4].

Виснаження запасів багаті сировини разом із підвищенням попиту на світовому ринку на високоякісні концентрати, змушують виробників залізородної продукції модернізувати свої технологічні схеми, шукати можливість їх вдосконалення, введення додаткових способів обробки, а також залучення у переробку важкозбагачувальних бурозалізнякових руд [4].

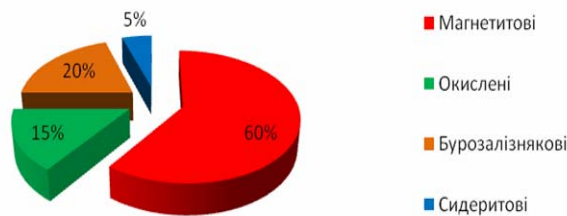


Рис. 2. Запаси залізородної сировини у світі

Одним із резервів залізородної бази чорної металургії є «бурі залізняки», які по запасах посідають друге місце у світі. Розвідані запаси бурозалізнякових руд в країнах СНД 15 646 млн т, що складає біля 20% від загальних залізородних запасів, врахованих за промисловими категоріями [1].

Видобуток та переробка цих руд поки що здійснюється в недостатньому об'ємі, хоча їх запаси як в світовому масштабі, так і в Україні дуже значні. На сьогоднішній день у більшості країн світу спостерігається тенденція до промислового використання бідних залізних руд, в тому числі і бурих залізняків, які раніше вважалися непромисловими. Окрім того зростають потреби металургії, що націлені на отримання великої кількості дешевого металу, що призвело до розвитку та ускладнення схем та методів збагачення, в яких основним завданням стоїть отримання високоякісних концентратів та зменшення втрат заліза у відходах збагачення. В умовах, коли спостерігається виснаження запасів багаті сировини, бурі залізняки можуть розглядатися як додаткове, а на майбутнє, як основне джерело сировини для підтримки потужностей гірничо-збагачувальних комбінатів, тому дослідження в цьому напрямку є досить актуальними.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільші родовища цих руд у країнах СНД - Казахстан (Лисаковське і Аятське родовища), Росія (Бокчарське, Березовське, Бакальське, Аккерманське), Крим (Керченське). У далекому зарубіжжі ці руди поширені у Англії (Нортхемптон), Франції (Ельзас), Німеччині (Пейне-Зальцгіттер), Люксембурзі (Лотарингський басейн), Італії (Ельба), Іспанії (Ріо-Тінто), Конго, Ангола, Канада [9]. Основні запаси бурозалізнякових руд зосереджені в Казахстані, Росії та Англії.

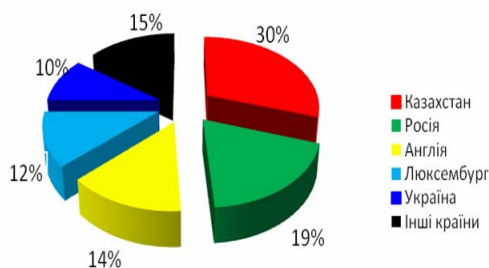


Рис. 3. Світові запаси бурозалізнякової руди у світі

Середній вміст заліза в рудах - 37,4%. Добування руди в основному здійснюється відкритим способом. Концентрати бурозалізнякових руд містять не більше 50-58% заліза і значно уступають по якості сировині з інших типів залізних руд. Недостатня якість концентрату, значний вміст в рудах фосфору і інших шкідливих домішок значно обмежує споживання цих руд.

Вибір методів збагачення бурозалізнякових руд, окрім залежності від їх фізичних, мінералогічних, хімічних та інших властивостей, обумовлюється також техніко-економічними результатами та кон'юнктурою ринку, що створюється як в середині країни так і на світовому

ринку. Залізна руда, тим більше бурозалізнякова, є порівняно дешевою сировиною, тому намагаються використати для її збагачення найбільш дешеві методи. Для отримання високоякісних залізрудних концентратів, а також при наявності в руді інших цінних компонентів використовують більш складні та дороговартісні методи збагачення (наприклад, магнетизуючий випал, флотацію та інше) [2].

Раніше для збагачення бурих залізняків використовували промивку, відсадку, випал руди, збагачення у важких суспензіях, флотаційне збагачення та інші види збагачення. Сьогодні ж пропонують використання комбінованих методів збагачення. На зарубіжних фабриках застосовують: гравітаційно-магнітне, випал-магнітне, промивочно-гравітаційне збагачення, флотаційно-магнітне, гравітаційно-флотаційне збагачення [1].

Наприклад, в Казахстані широкого використання набули гравітаційно-магнітні та випал-магнітні технології.

Стосовно України, можна зазначити, що на даний час розробка власних родовищ та збагачення бурозалізнякової сировини не практикується.

Постановка завдання. Для розробки ефективної схеми збагачення бурозалізнякових руд необхідно здійснити 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. Бурі залізняки, що відрізняються крупною вкрупненістю (більш 1 мм) і мають значну різницю в щільності та питомій магнітній сприйнятливості між рудними і нерудними компонентами, можуть успішно збагачуватись за допомогою комбінованої гравітаційно-магнітної технології [3]. При використанні гравітаційно-магнітних схем крупнозернисті фракції вилучають відсадкою, іншу частину — магнітною сепарацією в полі з високою напруженістю [8].

Цю технологічну схему було запропоновано для руд Лісаковського родовища, основними типами руд якого є: оолітові розсіпні руди та крихкі різновиди оолітів. Дослідженням інституту Механобр було показано, що рудні мінерали та пуста порода мають різницю в щільності 0,7-1,0 г/см³, тому можливо для частини руди використати гравітаційне збагачення. Гравітаційні аналізи обох різновидів руд показали, що концентрати із вмістом заліза 46-48% можна отримати при крупності руди - 12 мм, а при вмісті заліза 50% - при крупності менше 0,5мм. Окрім того, було встановлено, що питома магнітна сприйнятливості оолітів та щільних різновидів бурих залізняків значно вище питомої магнітної сприйнятливості пустої породи. Така різниця дозволяє використовувати магнітне збагачення та отримати концентрат із вмістом заліза до 49%.

Отже, була запропонована схема, що включає: дроблення в молоткових дробарках до 30 мм; мокре просівання по класу 2 мм; здрібнювання класу +2 мм у стрижневих млинах до -2 мм; знешламлення класу 2-0 мм у спіральних класифікаторах; два прийоми відсадження знешламленої руди з виділенням концентрату і промпродукту; три прийоми магнітної сепарації промпродукту відсадження з виділенням концентрату і хвостів. У схему включено поліградієнтний сепаратор 2/2 ЭРФМ-160 для виділення концентрату із знешламлених хвостів відсадження другого прийому. За допомогою такої схеми збагачення можна отримати концентрат із вмістом заліза до 49% [1]. Основними перевагами даної схеми збагачення є можливість отримання якісних показників по двом типам руд Лісаковського родовища, що піддаються збагаченню. Вони виходять практично однаковими і це дозволяє збагачувати два різновиди бурих залізняків збагачувати одночасно. А застосування цих сепараторів 2/2 ЭРФМ-160 дозволило збільшити вилучення заліза в концентрат на 6-7%. Гравітаційно-магнітне збагачення не потребує ні дорогого випалення, ні дорогих флотаційних реагентів. Недоліком даної схеми є високі капітальні та експлуатаційні витрати.

Промивочно-гравітаційне збагачення використовують для збагачення глинистих легкопромивних багатих руд. Основним завданням технології є відділення озалізненних оолітів та конкрецій від глини та кварцу. Для цієї цілі використовують два основних процеси - промивку та збагачення у важких суспензіях.

Для багатих глинистих руд Бакальського родовища пропонують застосовувати комбіновану промивочно-гравітаційну технологію збагачення [1]. У даній ситуації промивка використовується як основний процес. З руди із вмістом заліза 41-48 % при промивці в крупності 75-0 мм

та знешламленні зливу можна отримати концентрат, що містить 48,4-55,7% заліза при виході 86,7% та вилученні 96%.

В Англії збагачують бурозалізнякові руди, що містять у якості пустої породи глину та гравій. Руду дроблять до 75 мм та промивають для видалення глини. Миту руду піддають грохоченню на класи -75+2 та -2+0 мм. Після цього клас -75+2 збагачують у важкосередовищних сепараторах, в конусі діаметром 3 м з додаванням ферросиліцевої суспензії. Отримують концентрат із вмістом заліза 51,5% [5].

У США видобування та збагачення оолітових бурозалізнякових руд здійснюється в штаті Алабама. Для збагачення руди використовують промивку, збагачення на гравітаційних столах та збагачення у важких суспензіях.

Недоліком даної схеми є застосування на фабриках малої продуктивності, а також використання для збагачення тільки глинистих багатих руд.

Основними перевагами даного вибору схем є те, що за допомогою промивки можна видалити клас -2÷+0 мм, а це дозволить підвищити на 30 % продуктивність випалювальних установок і збільшити вміст металу у в руді.

Бурі залізняки, що представлені в основному слабomagнітними мінералами при наявності тонкої та крупної можуть збагачуватися по комбінованим гравітаційно-флотаційним схемам [8]. В даному випадку флотацію використовують для збагачення промпродуктів та хвостів гравітації. Флотаційне збагачення бурих залізняків здійснюється двома способами: 1) прямою флотацією за допомогою аніонних збирачів при депресії мінералів пустої породи; 2) зворотною флотацією, флотацією мінералів пустої породи аніонними збирачами при концентрації залізних мінералів в камерному продукті. В якості реагентів використовують гудрон, талове масло, медіалан-КА, хосфатон та інші.

Гравітаційно-флотаційна технологія збагачення була запропонована для збагачення руд Лісаковського родовища. Перед флотацією застосовують промивку, збагачення відсадкою. За такою схемою можна отримати концентрат із вмістом заліза 48,6 % при вилученні 92,5 % та виході концентрату 74,80 %. Вміст заліза у хвостах 11,6 %. Основними недоліками такої схеми є висока вартість реагентів, а також забруднення навколишнього середовища [8].

Для збагачення тонких класів і для очищення концентратів запропоновано використання прямої флотації в содовому середовищі (рН= 8-10) з жирними кислотами, а також зворотня флотація з депресією лимоніту за допомогою крохмалу або ортофосфатів [2,8].

Бурі залізняки, що представлені окислами, гідроокислами та силікатами заліза найбільш успішно можуть збагачуватися по гравітаційно-випалмагнітній технології. На початку технологічних схем гравітаційними методами виділяють мінерали, що найбільш багаті по вмісту заліза. Промпродукти гравітації в таких схемах піддають магнетизуючому випалу та відновленню до металічного заліза. Після цього промпродукти направляють на магнітне збагачення.

В промисловому масштабі гравітаційно-випалмагнітна технологія збагачення бурих залізняків використовується в Німеччині. Руду піддають збагаченню за комбінованими методами, що включають стадійне вибіркоче дроблення, промивку та роздільне збагачення в важких суспензіях мілких та крупних класів.

Частину проміжних промпродуктів відправляють на випал-магнітне збагачення, а після випалення руду піддають магнітному збагаченню в магнітних сепараторах з низькою напруженістю магнітного поля [1,7,12].

При вмісті заліза 27 % та кремнезему 24,3 % в руді, що піддається випалу, після магнітної сепарації отримують концентрат, що містить 40,4 % заліза та 23 % кремнезему при вилученні їх в концентрат 85 і 54 % відповідно.

Технологічні та техніко-економічні показники гравітаційного-випалмагнітного є кращими в порівнянні з показниками інших технологічних схем.

Для руд Лісаковського, Аккерманівського та Березовського родовища застосовують випалмагнітне збагачення. У випалмагнітних схемах використовують магнетизуючо-відновлювальний або окисно-відновлювальний випал, а після цього використовують магнітну сепарацію [13].

Секція №4 ЗФ Лісаковського ГЗК працює по випалмагнітній схемі та включає: дроблення руди до крупності 30-0 мм у молоткових дробарках; її сушіння; дроблення до крупності 10 мм; магнетизуючий випал (вугілля як паливо); дві стадії здрібнювання до крупності 75% класу -0,074 мм; три стадії ММС; чотири стадії знешламлення і фільтрування концентрату.

Випал дробленої руди здійснюється в печі ступенево-зваженого стану (СЗС) [12].

Технологічні показники випал-магнітного збагачення лісаковських руд наступні: вихід концентрату - 52,5 %; вміст заліза в концентраті - 61,6 %.

Для Аккерманівського родовища, де зосередженні в основному природно леговані залізни руди, що представлені глинистими різновидами бурозалізнякових руд була запропонована технологічна схема, що включає обпал руди, а після цього руду відправляють на мокру магнітну сепарацію всього матеріалу, подрібненого до крупності -1 мм і навіть -0,5 мм. Завдяки цій технології було отримано концентрат із вмістом заліза до 58-59% [1].

Для руд Березовського родовища використовують схему, яка включає магнетизуючий випал, магнітну сепарацію обпаленої руди в крупність 12-3; 3-0 і 0,10-0 мм з виділенням у кожній стадії готового концентрату, відвальних хвостів і промпродукт [1]. Вона дозволяє забезпечити стале отримання якісного залізного концентрату із вмістом заліза в концентраті до 56%.

У Франції руда із вмістом заліза до 39% піддається дробленню, сухому грохоченню, промивці, мокрому грохоченню та випалу.

У результаті отримують концентрат із вмістом заліза 48,5%. Основною перевагою такої технології збагачення є можливість збагачення усіх типів руд, що значно спрощує та полегшує добування та обробку руди, а також отримання високих показників збагачення. Основним недоліком геологічної схеми є високі енергозатрати.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Найбільшого розповсюдження за кордоном отримали гравітаційно-магнітні та випал-магнітні технології збагачення.

Дослідженнями доведена перспективність застосування комбінованих технологічних схем збагачення з застосуванням магнетизуючого випалу.

За такою технологією можливо отримати концентрат з вмістом заліза до 58 %. Але цей спосіб збагачення істотно забруднює навколишнє середовище, а також він є дуже енергозатратним.

Отже, для збагачення бурозалізнякових руд Керченського родовища доцільно розробити технологію, що дозволить отримати конкурентоспроможний концентрат та знизити шкідливий вплив на зовнішнє середовище.

Для цього необхідно детально вивчити речовинний та гранулометричний склад сировини, її фізико-механічні властивості, які суттєво впливають на процес збагачення.

Список літератури

1. **Барішполець В.Т.** Обогащение бурых железняков / **В.Т. Барішполець, П.А. Тацієнко, Г.Г. Невоїса, П.П. Юров** - М.: Недра, 1965.
 2. **Кармазин В.И., Остапенко П.Е.** Опыт получения концентратов высокой чистоты из бедных железных руд // Горный журнал. – 1961. - № 5. – С.62-67.
 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. **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.
 5. **Евсенович С. Г.** Обогащение руд в тяжелых суспензиях. Госгортехиздат Г 1959.
 6. **Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
 7. Обжигмагнитное и магнитное обогащение окисленных железных руд/ **Г.В. Губин** – В кн.: Материалы VIII Международного конгресса по обогащению полезных ископаемых. Т.1.Л., 1968, с. 162-173.
 8. **Остапенко П.Е.** Обогащение железных руд / М.: Недра, 1977. – 274с.
 9. **Гуреев М. М.** Стан і перспективи розвитку залізорудної мінерально-сировинної бази України для потреб якісної металургії // Геолого-мінеральний вісник. – 2006. – № 1 (15). – С. 47-52.
 10. **Кармазин В.И.** Применение кричного процесса при обработке Керченского месторождения / **В.И. Кармазин, Н.С. Довжик, Н.А. Малецкий** и др. // Обогащение руд, 1964, - №4. - С.27-29.
 11. **Белаш Ф.Н.** К вопросу обогащения керченских руд с получением концентратов, содержащих металлическое железо / **Ф.Н. Белаш, Э.Г.Киринос** // Криворожский горнорудный институт: Сборник научных трудов. - 1961. - Вып. XI. - С. 365-369.
 12. **Кармазин В.И.** Магнитные методы обогащения / **В.И. Кармазин, В.В. Кармазин** – М.: Недра, 1984. - 416с.
 13. **Богданди Л.Ф.** Восстановление железных руд / **Л.Ф. Богданди, Г.Ю.Энгель** – М.: Металлургия, 1971.- 407 с.
 14. **Кучер А.М.** Взаимосвязь термодинамических и кинетических характеристик процесса восстановления с показателями обогащения обожженных кварцитов / **А.М. Кучер, А.И. Иванов, З.Ф. Герасимова** // Обогащение руд черных металлов: Тематический сборник. - М.: Недра, 1980. - Вып. 9. – С. 30-41.
- Рукопис подано до редакції 07.03.14