

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук

(Україна, Кривий Ріг, Державний ВНЗ "Криворізький національний університет")

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Залізо у земній корі один з найпоширеніших елементів (4,65%). Воно як елемент займає четверте місце після кисню, кремнію і алюмінію та друге місце, як метал, після алюмінію. Завдяки своїм унікальним властивостям – ковкості, міцності, пластичності – залізо широко використовується будь-який галуззю промисловості в усьому світі. Світові прогнозовані ресурси залізних руд оцінюються у 790,9 млрд т. Ці руди зосереджені у родовищах 98 країн. Загальні запаси залізних руд у світі становлять 464,24 млрд т. З них підтверджені запаси складають 206,9 млрд т. За об'ємами підтверджених запасів Україна займає третє місце у світі (рис. 1) [1].

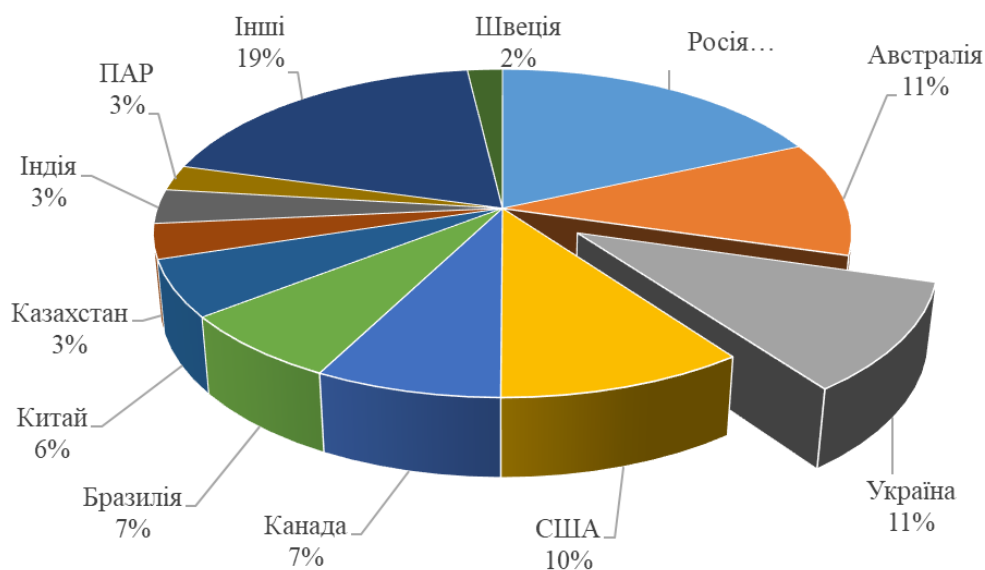


Рис. 1. Розподіл підтверджених запасів залізної руди у світі

Видобуток руди здійснюється на території понад 50 держав. Лідерами галузі на сьогоднішній день є Китай (26%), Бразилія (20%), Австралія (16%), Росія, Індія, Україна, США (по 7%). Сукупно вони видобувають 90% всіх залізних руд (рис. 2). Основна продукція, що випускається гірничо-видобувними підприємствами – це багаті залізні руди, концентрат, залізорудні обкотиші та агломерат [2]. Ця продукція забезпечує потреби як зовнішнього, так і внутрішнього ринку.

Взагалі 15 країн світу експортують 97,5% всієї залізозмісної продукції. Так, для цих країн у 2016 році експорт в грошовому еквіваленті склав: Австра-

лія – 39,5 млрд дол. (55% всього експорту товарної залізорудної продукції), Бразилія – 13,3 млрд дол. (18,5%), Південна Африка – 3,6 млрд дол. (5%), Канада – 2,9 млрд дол. (4%), Україна – 2,3 млрд дол (3,2%), Швеція – 1,6 млрд дол (2,2%), Нідерланди – 1,1 млрд дол. (1,5%), Індія – 1 млрд дол. (1,4%), Іран – 834,7 млн дол. (1,2%), Чилі – 828,6 млн дол. (1,2%), Малайзія – 814,4 млн дол. (1,1%), Росія – 802,3 млн дол. (1,1%), США – 569,4 млн дол. (0,8%), Мавританія – 503,7 млн дол. (0,7%), Казахстан – 386,7 млн дол. (0,5%) [3]. Як бачимо Україна бере активну участь у експорті залізорудної сировини і займає 5 місце серед 15 країн лідерів-експортерів. Порівняно з 2016 роком у 2017 році Україна збільшила експорт залізорудної продукції. Останній у 2017 році приніс Україні 2,8 млрд доларів, що складає 11,5% у загальному об’ємі експорту [4]. Найбільші експортні поставки залізорудної продукції були зроблені у Китай (28,4% всього експорту), Словаччину (11%), Австрію (11%). В інші країни експортовано залізовмісної продукції 49,5%.

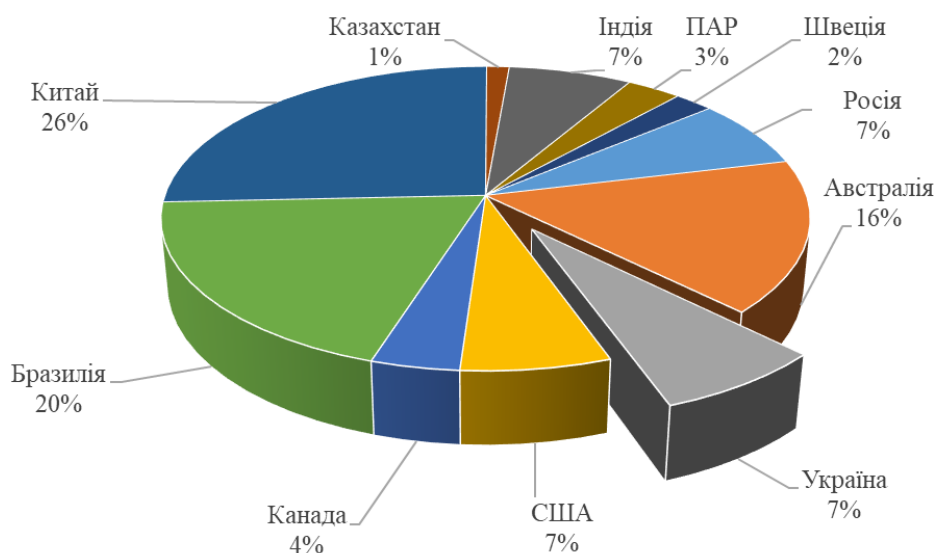


Рис. 2. Розподіл виробництва залізовмісної продукції (руда, концентрати) у світі (2017 р.)

Стосовно внутрішнього ринку, то зараз на реалізується приблизно 46,34% української залізорудної сировини. Так, обсяг реалізованої залізовмісної товарної продукції у 2017 році становив 127,8 млрд грн, або 6% до всієї реалізованої продукції. За даними державної служби статистики України у 2017 році виробництво залізних неагломерованих руд склало 165,3 млн т (59,7%), залізорудних неагломерованих концентратів – 60,5 млн т (21,9%), залізорудних агломерованих концентратів – 51 млн т (18,4%) [4].

Основними показниками, які визначають рейтинг залізорудної сировини на світовому ринку збуту, є:

- масова частка заліза та шкідливих речовин у товарній продукції;
- собівартість виробництва товарної продукції;

Загальні питання технологій збагачення

- активність на ринках споживання залізорудної сировини;
- ціна товарної продукції.

Магнетитові концентрати, що на світовому ринку користуються попитом, мають масову частку заліза 69-70%, діоксиду кремнію 2,5-3%, сірки 0,06-0,08% та інших шкідливих домішок не більше 0,3%.

Залізорудна магнетитова сировина, що видобувається в Україні, характеризується складної текстурою, структурою, підвищеним вмістом шкідливих домішок, таких як діоксид кремнію, оксиди калію, натрію, магнію і сірки. Вміст заліза в агломераційних рудах України на 1,6-2,0%, а в концентратах на 4-5% нижчий, ніж у продукції провідних зарубіжних виробників. Товарна продукція вітчизняних виробників вразлива до будь-яких коливань як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках, а її збут обмежений. При цьому вимоги до якості залізорудних концентратів, що надходять на подальшу металургійну переробку, зростають, оскільки висока якість магнетитових концентратів дозволяє значно скоротити витрати в металургійному виробництві. Концентрація сировини на світовому ринку вимагає негайних заходів щодо покращення якості залізорудних концентратів і одночасного зниження їх собівартості на українських гірничо-збагачувальних комбінатах [5]. Зберегти своє місце на світовому ринку залізорудні гірничо-збагачувальні комбінати України можуть, лише вдосконаливши виробництво концентрату, який повинен містити 69-70% заліза, не більше 2,5% кремнезему, не більше 0,16% K_2O+Na_2O [2, 5-12].

Отже, сьогодні актуальною проблемою для гірничо-видобувної залізорудної галузі світу, а для нашої країни особливо, є підвищення конкурентоспроможності товарної продукції. А саме покращення якості залізорудних концентратів за рахунок зниження вмісту шкідливих домішок і підвищення масової частки заліза. Розробка та реалізація технічних рішень із забезпечення підвищення якості та конкурентоспроможності потребують значних капітальних вкладень. Однак цей напрямок в умовах високої конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринках збуту залізорудної продукції залишається одним з пріоритетних, що забезпечує постійну стабільність і перспективний розвиток гірничо-видобувного комплексу України.

Аналіз досліджень та публікацій

Залізні руди різних типів відрізняються мінеральним складом і текстурно-структурними особливостями, що зумовлює необхідність застосування різних технологій збагачення. У зв'язку з цим, глибина збагачення і технологічні показники при переробці руди кожного конкретного типу визначаються низкою характеристик. До таких характеристик відносять: речовинний склад, характер вкраплень компонентів, контрастність властивостей і ефективність сепараційних процесів.

Технологія збагачення магнетитових руд однотипна та передбачає поетапну сепарацію з послідовним виведенням нерудної частини у хвості. Це є відмінною рисою технології переробки магнетитових руд, оскільки при збагаченні

більшості корисних копалин переслідуються мета послідовного видалення рудних мінералів в готові продукти по мірі їх розкриття.

За кордоном удосконалення технології збагачення залізних руд здійснюється шляхом комбінування технологічних схем. Чорновий концентрат отримують за схемами з магнітною сепарацією і потім для доведення використовують спеціальні методи збагачення. Серед таких методів можна виділити: промивання, відсадження, збагачення на концентраційних столах, гвинтових сепараторах і у важких суспензіях, магнітне збагачення, флотацію і флотогравітацію [13, 14].

Отримання високосортних концентратів на ГЗК України із застосуванням існуючої магнітної технології представляє певні труднощі [6-12].

Основні причини цього полягають у наступному [8]:

- низька ефективність сепарації через переподрібнення матеріалу і підвищеної його флокулюємості;

- недостатнє розкриття мінералів з утворенням "важких" зростків;

- засмічення концентратів за рахунок порушень технологічного режиму (загрублення подрібнення, порушення роботи сепараторів та ін.) і т.д.

- переважання окремих типів зрощень мінералів, що несприятливі для розкриття – пойкилітові та мірмекітоподібні зрощення, які різко знижують якість магнетитового концентрату при збагаченні кварцитів;

- присутність у складі концентрату часток, розмір яких перевищує стандартний;

- налипання на частинках магнетиту, які направляються в складі пульпи на магнітну сепарацію, наночасток нерудних мінералів;

- флокуляція часток магнетиту в полі магнітного сепаратора. При цьому до складу флокул входять частинки нерудних мінералів.

Важливе значення в зниженні якості концентратів має його переподрібнення, яке призводить до шламоутворення. Це пов'язано з низькою ефективністю подрібнення і класифікації. Так, якщо на I стадії класифікації у спіральних класифікаторах ефективність становить 50-60%, то на II стадії у гідроциклонах діаметром 500-700 мм ефективність знижується до 30-38%. А на III стадії у гідроциклонах діаметром 360-500 мм ефективність знижується до 25-30%. Тобто 70-75% вже розкритого матеріалу знову прямує з пісками гідроциклону на останню стадію подрібнення. Тому на окремих комбінатах, в якості доводочної операції використовується тонке грохочення, що дозволяє підвищити масову частку заліза з 65,7 до 67,6% [15, 16]. З метою підвищення якості концентрату на трьох ГЗК Кривбасу ("АрселорМіталл Кривий Ріг", ПРАТ "ПВНГЗК", ПАТ "ПВДГЗК"), а також на ПРАТ "Полтавський ГЗК" у період 2003-2015 роки були проведені дослідження з доцільності застосування тонкого грохочення для підвищення якості магнетитового концентрату. При проведенні експериментів використовувалися грохоти Стак Сайзер (фірми "Деррік"). Дослідження показали, що методом тонкого грохочення з рядового концентрату (масова частка заліза загального у концентраті на рівні 64,5-65,5 %) можна отримати високоя-

кісний концентрат із загальним вмістом заліза більше 67 %. Необхідно відзначити, що практика тонкого грохочення так само, як і флотаційне доведення залізородних концентратів до високої якості, використовується на збагачувальних фабриках США і Канади протягом десятиліть.

Доведення магнетитових концентратів з використанням зворотної катіонної флотації здійснюють на фабриках Адамс, Шерман, Гріффіт майн та інших. В Україні сьогодні магнетитові кварцити переробляються з флотаційним доопрацюванням концентратів на ПРАТ "Полтавській ГЗК" і "Інгулецький ГЗК". Флотаційне доведення концентратів є найбільш досконалим рішенням проблеми видалення кремнезему і отримання чистих магнетитових концентратів, навіть до мономінеральних фракцій [10]. Попутно зменшується вміст лугів калію і натрію, що входять до складу мінералів породи. Приріст вмісту заліза при флотаційному доведенні чорнових магнітних концентратів коливається на фабриках від 2 до 9%. В результаті зворотної флотації можна отримати "суперконцентрати", які містять більше 70% заліза загального та менше 2% кремнезему. Вилучення заліза у концентрати залежить від вмісту магнетиту в рудах (18-35%) і змінюється від 65 до 85 %. Якість флотаційних залізних концентратів залежить від мінерального складу руд.

Аналіз робіт [2, 6-12, 17, 18] дозволив встановити основну причину забруднення концентратів. Її сутність полягає у погіршенні контрастності технологічних властивостей мінералів, що відбувається за рахунок магнітної флокуляції часток і утворення мікронних техногенних зростків. Механізм появи техногенних зростків пов'язаний в основному з наявністю на поверхні часток іонно-електричних і молекулярних полів. Найбільш простим, на перший погляд, вважається застосування механічної відтирки поверхонь мінеральних часток, однак це не завжди призводить до очікуваних результатів [11]. Утворення техногенних зростків нівелює різницю у властивостях поверхні рудних і нерудних зерен, змінює їх магнітну сприйнятливість, і, отже, ефективність різних сепараційних методів.

У ДВНЗ "Криворізький національний університет" вивчалися промпродукти збагачення ПАТ "ЦГЗК" і ПАТ "Північний ГЗК" [8]. Зразки піддавали інтенсивному ультразвуковому впливу (УЗВ). Отримані результати дозволили зробити висновок про те, що в різних класах продуктів магнітного збагачення змінювалася масова частка заліза загального після УЗВ. У класах крупності, в яких концентрувалися розкриті зерна мінералів (-0,071 мм), масова частка Fe_{заг} підвищувалася на 2,7-4,1%. Водночас у шламових продуктах (-0,02 мм) – знижувалася на 14,7 і 7,2% для магнітних продуктів I і V стадій збагачення відповідно. Це свідчить про превалювання очищення часток від шламових покриттів над звільненням нерудних мінералів з магнітних флокул. Видалення мікронних техногенних утворень відбувається як з часток оксидів заліза, так і з часток кварцу і силікатів, результатом чого є оновлення поверхні часток і збільшення контрастності технологічних властивостей при магнітній сепарації і флотації.

Для збагачення окислених залізних руд використовують такі способи: маг-

нетизуючий випал з подальшою магнітною сепарацією у полі з низькою напруженістю [2]; гравітаційне збагачення [19, 20]; мокра магнітна сепарація в сильному полі [19, 21, 22]; пряма і зворотна флотація із застосуванням катіонних або аніонних реагентів [23-25]. Застосовують також комбіновані способи, які включають два і більше з вище перерахованих. Аналіз основних напрямів і підходів до питання переробки гематитових руд показав, що для виробництва конкурентоспроможної на ринку залізорудної сировини необхідно насамперед, визначитися з вибором технологічної схеми збагачення.

Мета дослідження

На підставі аналізу практики збагачення залізних руд у світі та Україні, власних результатів досліджень виявити та розкрити перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд.

Результати досліджень

Одним з напрямків створення сировинної бази для виробництва принципово нових, більш підготовлених до металургійного переділу видів залізорудної сировини є залучення до видобутку та переробки легкозбагачуваних магнетитових кварцитів, які залягають у полях діючих шахт. Збагачення такого виду сировини передбачається на потужностях діючих гірничо-збагачувальних комбінатів. Стандартна для ГЗК технологія збагачення таких магнетитових руд надає технічну можливість одержання концентратів з масовою часткою заліза загального 67-69%. Наприклад, тільки за період 2007-2016 рр. на шахті ім. Орджонікідзе ПрАТ "Центральний ГЗК", розконсервацію якої виконано за проектом ДП "ДП "Кривбаспроект", обсяг видобутку магнетитових кварцитів підземним способом склав 14,1 млн т. Переробка цих руд забезпечує виробництво додаткового концентрату в обсязі 500 тис. т на рік.

Однією з основних проблем рудоподготовки є організація щадного подрібнення руди. При розробці та вдосконаленню технології збагачення необхідно передбачити технологічні прийоми, що дозволяють своєчасно виділяти готові до збагачення частинки. Тобто, при рудопідготовці необхідно не допускати переподрібнення мінералів і, як наслідок, їх шламування. З цією метою нами запропоновано заміну металевого футерування на гумове типу "Хвиля". Встановлено, що при подрібненні магнетитових кварцитів ПРАТ "ПВНГЗК" у кульових млинах необхідно збільшення концентрації зсувних напружень за рахунок застосування гумових футеровок типу "хвиля-хвиля". Це дозволяє збільшити приріст класу $-0,056$ мм на 17...29% та підвищити коефіцієнт розкриття рудних зерен на 1,8-3%, нерудних на 1,3%, що в свою чергу збільшує кінцеву якість концентрату на 0,3% без зниження його виходу.

Одним з можливих шляхів подальшого підвищення економічної ефективності переробки магнетитових руд є суха магнітна сепарація (СМС) дрібно подрібнених руд. Застосування її в технологічній схемі дозволяє вже на початку процесу збагачення руди скинути частину порожньої породи. Це стабілізує жи-

Загальні питання технологій збагачення

влення мокрої магнітної сепарації за масовою часткою заліза магнетитового і підвищує продуктивність переділу за концентратом. Крім того, зменшуються витрати технічної води на гідротранспортування відходів. Крім цього сухі відходи СМС є додатковою товарною продукцією.

Ефективність сухої магнітної сепарації дрібнодроблених сильномагнітних руд зазвичай оцінюється за виходом сухих хвостів. Збагачення признається в тому або іншому ступені ефективним залежно від кількості виділених хвостів. При цьому не враховується, наскільки ефективний ступінь реального вилучення в хвості хвостових (порідних) фракцій, що містяться в руді, особливо за класами крупності.

Найбільша ефективність сухої магнітної сепарації магнетитових кварцитів досягається при крупності сировини 20(25)-0 мм.

Технологію сухої магнітної сепарації магнетитових кварцитів упроваджено на трьох комбінатах Кривбасу: ПрАТ "Центральний ГЗК", ПрАТ "Інгулецький ГЗК" та "АрселорМіталл Кривий Ріг".

Технологія СМС забезпечує приріст масової частки магнетитового заліза в руді на 2-4% (абс.) при його вилученні в промпродукт СМС на рівні 97,5-98,5%. Скидання відходів збагачення СМС, витяг яких за критерієм ефективності повинен бути не менше 5-7%, дозволяє знизити витрати електроенергії на технологічних секціях збагачувальної фабрики на 8-10%.

Показники сухої магнітної сепарації руди в крупності 25-0 мм на різних ГЗК Кривбасу наведено на рис. 3.

Сьогодні для більш селективної роботи сухої магнітної сепарації із застосуванням нового обладнання необхідним є зниження крупності руди до 16 мм. Показники сухої магнітної сепарації руди в крупності 16 мм на різних ГЗК Кривбасу наведено на рис. 4.

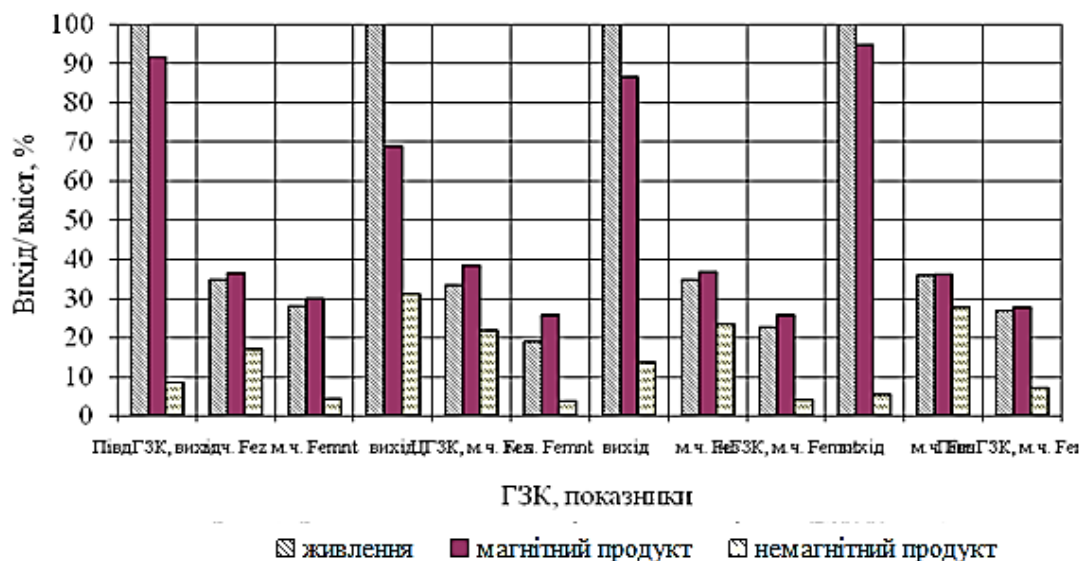


Рис. 3. Результати сухої магнітної сепарації руд ГЗК Кривбасу крупністю 25-0 мм

Нами досліджено типи магнетитових кварцитів та визначено сфери застосування технології сухої магнітної сепарації залежно від їх текстури й мінерального складу. За результатами магнітної сепарації руд встановлено, що практично зі всіх технологічних різновидів магнетитових кварцитів Кривбасу, у тому числі й тонкосмугастих, при сухому магнітному збагаченні подрібненого матеріалу може виділитися від 3-4 до 20-23% сухих зернистих відходів збагачення із масовою часткою магнетитового заліза від 1,5 до 5%. Частина виділених відходів збагачення утворюється за рахунок породи, що механічно засмічує і потрапляє у руду при веденні гірничих робіт, а частина розкривається при подрібненні за рахунок вивільнення та у вигляді "плоскуш", природних "прошарків" завтовшки від 1 до 5-6 мм і завдовжки до 60 мм. За рахунок застосування СМС скорочуються на 10% витрати електроенергії на подрібнення руди.

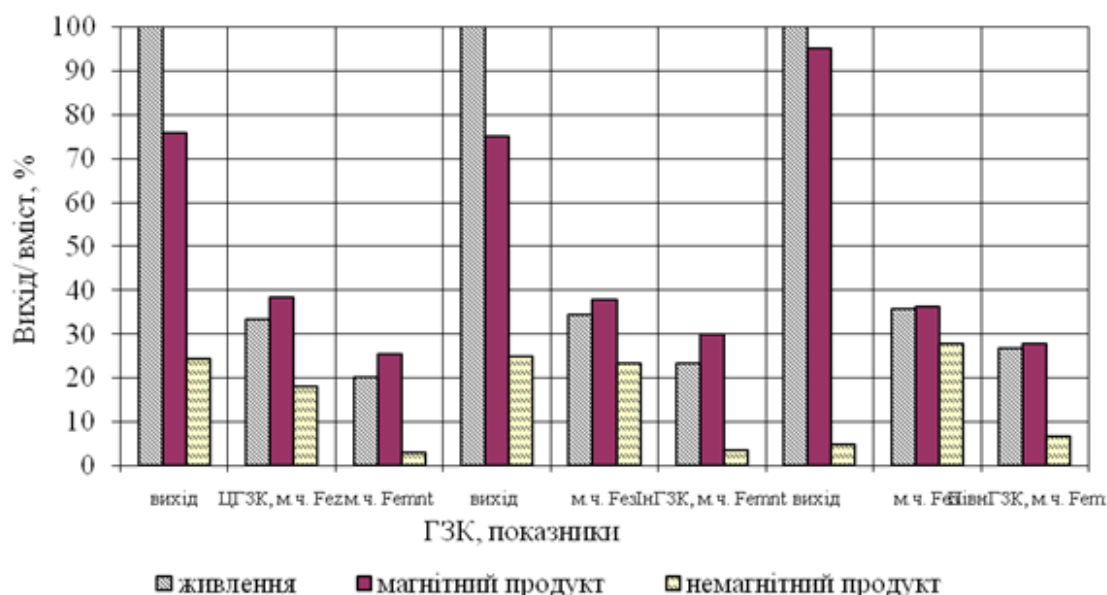


Рис. 4. Результати сухої магнітної сепарації руд ГЗК Кривбасу крупністю 16 мм

Нами вивчено процес сухої магнітної сепарації представницьких проб І, ІІ, ІІІ, ІV підпачкі висячої пачки Аннівського кар'єру [26]. В програму досліджень були включені експерименти, що спрямовані на вивчення впливу швидкості обертання барабана, сили опору, кута розкриття віяла і довжини робочої зони сепарації на кінцеві показники збагачувальності матеріалу. В результаті технологічних випробувань в лабораторних умовах методом сухої магнітної сепарації проб руди магнетитових кварцитів І, ІІ, ІІІ, ІV підпачкі висячої пачки Аннівського кар'єра доведена можливість отримання магнітного промпродукту, з приростом масової частки заліза загального в порівнянні з вихідною рудою – 1,86-3,09%. Вихід хвостовій фракції коливався в залежності від різновиду магнетитових кварцитів висячої пачки Аннівського родовища і склав від 17,05 до 52,53%. Масова частка заліза магнітного в хвостах СМС склала 1,01-5,19%.

Загальні питання технологій збагачення

Приріст масової частки заліза магнітного в магнітному промпродукті в порівнянні з вихідною рудою – 1,93-3,18%. СМС подрібненої руди забезпечує виведення в немагнітний продукт тільки бідних за масовою часткою магнетитового заліза крупних кусків руди і тим самим стабілізує її якість. Згідно з отриманими результатами, масова частка заліза загального в концентратах, вилучених з проб руд всячої пачки Аннівського родовища, склала 68,6, 68,76, 68,93 і 66,05% для I, II, III і IV підпачки відповідно. Вихід щебеню склав відповідно 30,22, 20,8, 17,02 і 52,57%.

Нині розглядається питання застосування на гірничо-збагачувальних комбінатах сухої магнітної сепарації для скидання бідної частини некондиційної фракції крупнодроблених (після однієї стадії дроблення в кар'єрі) магнетитових кварцитів на борту кар'єрів та виведення їх з процесів подальшого транспортування, середнього та дрібного дроблення, подрібнення, збагачення та складування у хвостосховищах.

Гематитові кварцити розглядаються як перспективна залізородна сировина родовищ Криворізького басейну [2, 27]. Конкурентоспроможний гематитовий концентрат повинен містити не менше 64,0-66,0% заліза, що за вмістом кремнезему еквівалентний магнетитовим концентратам, з масовою часткою заліза 67,0-68,0% [2]. Перспективним в цьому напрямку є родовища Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату [27, 28]. В останні роки в кар'єрі ІНГЗК все частіше фіксуються виходи покладів багатих гематитових руд, що не вилучені в процесі раніше виконаних гірничовидобувних робіт (так званих втрачених). Так, у складі товщі гематитових кварцитів п'ятого та шостого залізистих горизонтів присутні тіла багатих гематитових руд. Загальна масова частка заліза у рудах змінюється від 46 до 69%, у середньому складає біля 55 %. У відповідності з технологією гірничих робіт, яка використовується на комбінаті, багаті руди сумісно з гематитовими кварцитами п'ятого та шостого залізистих горизонтів складувалися у відвалах комбінату. Протягом останніх років проводиться селективне вилучення багатих руд з подальшим накопиченням на території спеціально організованого складу [27, 28]. У зв'язку з цим виникла необхідність оцінки можливості селективного видобутку та збагачення багатих гематитових руд з метою виробництва з них агломераційної руди, агломераційного концентрату та тонкоподрібненого концентрату.

Нами виконано комплекс технологічних досліджень, в якому розглядалася можливість отримання з руд Інгулецького родовища двох видів товарної продукції – аглоруди та гематитового. Для отримання аглоруди з гематитової руди Інгулецького родовища в якості основного методу збагачення прийнята суха магнітна сепарація в сильному полі. Сильне поле створюється високоенергетичними системами з постійних магнітів, виготовлених на основі сплавів Nd-Fe-B.

Визначено, що кращі показники за якістю аглоруди характерні для магнітної сепарації руди в крупності 20-0 мм. Зі зменшенням крупності руди, підвищується вологість і тим самими погіршуються показники селективності процесу сухої магнітної сепарації. Встановлено, що для вилучення товарного концен-

трату з максимальним виходом необхідно в основній сепарації використовувати барабанний магнітний сепаратор з індукцією поля 0,5 Тл. Однак при перещищенні немагнітного продукту індукцію магнітного поля необхідно підвищити до 0,7-1,1 Тл. При цьому, максимально вилучаються розкриті залізовмісні мінерали та їх багаті зростки у додатковий другий концентрат.

Розроблено технології сухого і мокрого збагачення гематитових кварцитів Кривбасу. У схемах використані магнітна сепарація в сильному полі і гравітаційна сепарація. З гематитової руди отримано аглоруду з масовою часткою заліза 55,1% та концентрати з масовою часткою заліза 62,32-64,69%. Вилучення заліза в товарні продукти склало 73,6-80,49%.

Можливості сухої магнітної сепарації, як ефективною операції попереднього збагачення гематитових кварцитів, сьогодні є однією з найактуальніших проблем у зв'язку з тим, що ще вчора питання про попереднє збагачення бідних гематитових кварцитів було закритим і не запропоновано в жодній з розроблених технологій при проектуванні Криворізького гірничо-збагачувального комбінату окислених руд (КГЗКОР).

На технологічні дослідження в ДВНЗ "Криворізький національний університет" були представлені 200 рядових проб 9 мінералогічних різновидів гематитових кварцитів двох родовищ: Скелеватського та Валявкинського. Результати досліджень свідчать про можливість отримання з руди крупністю 20-0 мм в одну стадію на барабанному магнітному сепараторі відвальних хвостів з масовою часткою заліза загального 10,5-26,74%. При подальшому збагаченні магнітного промпродукту за комбінованою магнітно-флотаційною технологією у лабораторних умовах було отримано концентрат з масовою часткою заліза загального 65,41% при виході концентрату 39,75% і вилученням заліза загального у концентрат 70,23%, що на 9,12% вище порівняно з вилученням заліза загального у концентрат, який отримано за базовою технологією КГЗКОР.

На підприємствах з підземним способом розробки родовищ видобуті природно багаті залізні руди з вмістом заліза 54-57% на дробильно-сортувальних фабриках шахт піддаються частковому збагаченню методом грохочення зі скиданням крупної некондиційної фракції з вмістом заліза 39-46% і виділенням товарної руди з вмістом заліза 57-61%. Кількість скинутої некондиційної фракції від загального обсягу руди шахтного видобутку окремих шахт коливається від 4 до 35%.

Одним з методів підвищення конкурентоспроможності товарної руди, видобутої підземним способом, є впровадження технології сухої магнітної сепарації гематитових руд крупністю 5(10)-0 мм з використанням сепараторів з сильним магнітним полем. Так впровадження СМС на шахтах ПАТ "Кривбасзалізрудком" дозволить збільшити вміст заліза в продукції, яка реалізується, з 59,5% до 63,65%.

Висновки та напрямки подальших досліджень

На підставі аналізу практики збагачення залізних руд у світі та Україні,

Загальні питання технологій збагачення

власних результатів досліджень виявлено та розкрито перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд. А саме підвищення якості та конкурентоспроможності товарної продукції забезпечується за рахунок розробки й реалізації наукових розробок та проектних технічних рішень за напрямками:

1. Застосування у схемах переробки залізних руд (магнетитових, гематитових) сухої магнітної сепарації як операції попереднього збагачення.
2. Удосконалення технології рудопідготовки за рахунок застосування нової схеми класифікації рудопотоків та зміни профілю футерування млинів,
3. Дозбагачення первинних концентратів з використанням магнітно-флотаційної технології з технічною можливістю виробництва концентратів з вмістом заліза 68,0-69,0%.
4. Залучення до переробки легкозбагачуваних магнетитових кварцитів, які залягають у полях діючих шахт.
5. Реконструкція та технічне переоснащення діючих збагачувальних фабрик, оснащених технологією мокрої магнітної сепарації, у тому числі за рахунок зменшення крупності дроблення вихідної сирової руди та застосування СМС.

За результатами проведених технологічних досліджень з ефективності збагачення окислених кварцитів обґрунтовано технологію їх попереднього збагачення та розроблено нову магнітно-флотаційну технологію їх перероблення, що дозволила отримати концентрат з масовою часткою заліза загального 65,41% при виході концентрату 39,75% і вилученням заліза загального у концентрат 70,23%, що на 9,12% вище порівняно з вилученням заліза загального у концентрат, який отримано за базовою технологією КГЗКОР.

Список літератури

1. Горно-металлургический комплекс Украины (цифры, факты, комментарии). Бизнес-справочник [Электронный ресурс] / Большаков В. И., Василенко С. П., Галецкий Л. С. и др. ; под общ. ред. В. А. Гнатуш – 2009. – 732 с. – URL: http://cgntb.dp.ua/pn_book.html.
2. Олейник, Т. А. Современные тенденции развития технологий обогащения гематитовых руд в Украине [Текст] / Т. А. Олейник // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 56(97). – С. 18-28.
3. Офіційний портал статистики. України. Distribution of global iron ore exports in 2016, by major country. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/300328/top-exporting-countries-of-iron-ore>
4. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
5. Стратегия развития горно-металлургического комплекса Украины: эффективность производства и качества продукции / Ю. Г. Вилкул, А. Г. Темченко, В. С. Моркун, Г. Г. Пивняк, П. И. Пилов // Горный журнал. – 2007. – № 10. – С. 77-81.
6. High-energy ultrasound using to improve the quality of iron ore particles purification in the process of its enrichment / V. Morkun, G. Gubin, T. Oliinyk, V. Lotous, V. Ravinskaia, V. Tron, N. Morkun, M. Oliinyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6(90) – P. 41-51.
7. Олійник, Т.А. Розробка технологій очищення залізовмісних концентратів від шкідливих домішок [Текст] / Т.А. Олійник, Е.В. Часова, Л.В. Скляр, Н.В. Кушнірук, М.О. Олій-

ник, А.Ю. Скляр // Збагачення корисних копалин. – 2016. – Вип. 62 (103). – С. 34-44.

8. Губин, Г. Г. Обобщение и анализ возможности использования ультразвуковых колебаний при переработке полезных ископаемых [Текст] / Г.Г. Губин, Т.П. Ярош, Л.В. Скляр // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2016. – Вип. 62(103). – С. 132–143.

9. Олейник, Т. А. Развитие технологий и технических средств обогащения гематитовых руд [Текст] / В.И. Мулякко, Т.А. Олейник, В.И. Ляшенко, М.О. Олейник // Черная металлургия. – 2016. – № 5. – С.5-10.

10. Олійник, Т.А. Особливості флотації залізних руд [Текст] / Олійник Т.А., Олійник М.О., Скляр Л.В., Скляр А.Ю // Збагачення корисних копалин. – 2017. – Вип. 67(108). – С. 88-101.

11. Пилов П.И. Повышение качества магнетитовых концентратов путем их механической обработки // Горный журнал. – 1999. – № 6. – С. 30-32.

12. Pilov P. I., V. Ph. Badagov, Krasulya A. S. New technologies of magnetite quartzite's dressing at Poltavsky mining-dressing mill // Maine Planning and Equipment Selection 1999 & Maine Economical Issues 1999, Pivnyak & Singhal (eds), ISBN 966-7476-12-X. – P. 304-311.

13. Yellishetty, M. Iron ore and steel production trends and material flows in the world: Is this really sustainable? / M. Yellishetty, P. G. Ranjith, A. Tharumarajah // Resources, Conservation and Recycling. – 2010. – Vol. 54, Issue 12. – P. 1084-1094.

14. Li, Q. Iron material flow analysis for production, consumption, and trade in China from 2010 to 2015 / Q. Li, T. Dai, G. Wang, J. Cheng, W. Zhong, B. Wen, L. Liang // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Vol. 172. – P. 1807-1813.

15. Пелевин, А. Е. Применение грохотов "Деррик" в замкнутом цикле измельчения на обогатительной фабрике ОАО "Комбинат КМАруда" [Текст] / А.Е. Пелевин, М.В. Лазебная // Обогащение руд. – 2009. – №2. – С.4-8.

16. Ширяев, А.А. Применение тонкого грохочения для повышения качества на обогатительной фабрике горно-обогатительного комплекса "АрселорМиталл Кривой Рог" [Текст] / А. А. Ширяев, Е. Н. Нескоромный, А. И. Мироненко, С. А. Самохина, С. С. Старых // Вісник КНУ. – 2013. – Вип. 34. – С. 114-120.

17. Сентемова, В. А. Флотация в схемах обогащения магнетитовых руд [Текст] / В. А. Сентемова // Обогащение руд. – 2007. – № 2. – С. 18-22.

18. Гзогян, Т. Н. Теоретические и экспериментальные исследования получения высококачественных концентратов [Текст] / Т. Н. Гзогян // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №4. – С. 389-393.

19. Seifelnassr Ahmed A. S., Moslim Eltahir M., Abouzeid Abdel-Zaher M. Effective processing of low-grade iron ore through gravity and magnetic separation techniques // Physicochem. Probl. Miner. Process. – 2012. – 48(2). – P. 567-578.

20. Das B., Prakash S., Das S. K., Reddy P. S. R. Effective beneficiation of low grade iron ore through jigging operation // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2007. – Vol. 7, № 1. – С. 27-37.

21. Umadevi T., Singh A., Abhishek K., Suresh B., Sah R. Recovery of iron bearing minerals from beneficiation plant 2 thickener underflow of JSW Steel limited // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. – 2013. – №1. – С. 55-60.

22. Кармазин В.В., Пак С.Г., Маслов Д.С. Магнитное обогащение окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень : Научно-технический журнал. – 2012. – №12. – С. 212-219.

23. Ma X., Marques M., Gontijo C. Comparative studies of reverse cationic/anionic flotation of Vale iron ore // International Journal of Mineral Processing. – 2011. – 100. – С. 179-183.

24. Filippov, L.O., Severov V.V., Filippova I.V. An overview of the beneficiation of iron ores via reverse cationic flotation // International Journal of Mineral Processing. – 2014. – 127. – С. 62-69.

25. Braga M.M.Jr., Peres A.E.C. Effect of coarse quartz scalping on the reverse cationic

Загальні питання технологій збагачення

flotation of iron ore // Revista de la Facultad de Ingenieria. – 2011. – 25. – С. 1-9.

26. Особенности сухой магнитной сепарации железистых кварцитов висячей пачки Анновского карьера / Т.А. Олейник, Л.В. Складар, Н.В. Кушнирук и др. // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ. – 2014. – Вип. 57(98). – С. 120-130.

27. Беспояско Е.О. Мінералогічні особливості залізних руд Криворізького басейну у світлі збільшення їх кондиційних запасів // Мінерал. журн. – 2014. – 36, № 3. – С. 86-91.

28. Беспояско Е.А., Евтехов В.Д., Беспояско Т.В. Локалізація і мінеральний склад покладів багатих гематитових руд Інгулецького родовища Кривбасу // Мінералогічний журнал. – 2014. – 36, № 4. С. 122-127.

© Олейник Т.А., 2018

*Надійшла до редколегії 12.03.2018 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*