

4. **Жуков И.А.** Формирование упругих волн в волноводах при ударе по ним полукатеноидальными бойками: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Томск, 2005. – 132 с.
5. **Рындин В.П.** Определение энергетических параметров и совершенствование динамики ударных систем бурильных машин: Автореф. ... дисс. докт. техн. наук. – Кемерово, 2005. – 330 с.
6. **Губанов Е.Ф.** Ударное разрушение хрупких сред при использовании в них отверстий без поворота инструмента: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Томск, 2003. – 22 с.
7. **Эйгелес Р.М.** Пути использования результатов экспериментального исследования единичных актов разрушения горных пород для решения некоторых задач бурения / **Р.М.Эйгелес, Ю.А.Боксерман** // Разрушение горных пород. - М. : ВНИИБТ, 1975. - Вып. 33. - С.200-209.
8. **Протасов Ю.И.** Теоретические основы механического разрушения горных пород / **Ю.И.Протасов**. - М. : Недра, 1985. - 24 с.
9. **Прядко Ю.А.** Разработка методики проектирования коронок с цилиндросферическими твердосплавными вставками для штангового бурения: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины» / **Ю.А.Прядко**. - ИГД СО АН СССР. – Новосибирск, 1988. – 21 с.
10. **Хруцкий А.А.** Методика проектирования штыревых коронок для бурения скважин / Вісник Криворізького технічного університету, 2008. – Кривий Ріг. – КТУ. – Вип. 20. – С.98-102

Рукопись поступила в редакцию 17.03.17

УДК 622.7.622.341.1

О.В. БУЛАХ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ЗМІШАНИХ РУД

Мета. Метою даної роботи є визначення можливості та необхідності збагачення змішаних руд в Україні та закордоном та вдосконалення технології їх переробки. Технологічна і економічна оцінка найбільш ефективної та екологічно чистої технології збагачення змішаних залізних руд, яка забезпечить отримання високоякісного концентрату при мінімальних втратах заліза з хвостами. Отримання високоякісних концентратів зумовлено складною рудною базою розроблюваних родовищ і невисокою їх конкурентоспроможністю, що можливо досягти завдяки розвитку технологій та обладнання при збагаченні залізних руд.

Методи дослідження. Аналіз раніше виконаних досліджень і розробок з переробки змішаних залізних руд в Україні, СНД і країнах далекого зарубіжжя. При аналізі технологій переробки змішаних залізних руд, що дозволяють отримувати високоякісні концентрати з'ясовано, що найбільш перспективним напрямком робіт з підвищення якості концентрату є зниження вмісту шламів, утворених при рудопідготовці, які в подальшому погіршують якість магнітного продукту.

Наукова новизна. Ефективність комплексної переробки змішаних (напівокислених) залізних руд досягається шляхом оптимізації глибини їх збагачення, дозволяючи визначити граничні умови механічних методів розділення на основі розкриття, знешламливання, магнітної сепарації мінеральних компонентів. Вибір оптимального технологічного обладнання для збагачення змішаних руд здійснюється на основі показників ефективності розділення.

Практична значимість. Поліпшення ефективності процесів подрібнення і магнітної сепарації завдяки оптимізації глибини збагачення, визначених граничних умов застосування механічних способів переробки змішаних залізних руд та на основі поліпшення параметрів розкриття і сепарації мінеральних компонентів.

Результати. Показано, що у вітчизняній практиці переробка змішаних залізних руд відсутня, у зарубіжній практиці застосовується, більшою мірою, технологія гравітаційно-флотажного збагачення. На підставі досвіду роботи передових зарубіжних фабрик, що переробляють аналогічну сировину, а також на основі власних експериментальних досліджень визначено технологічні можливості магнітного збагачення змішаних залізних руд з попередньою підготовкою сировини до збагачення. Використання операції знешламливання руди перед збагачувальним переделом значно покращує технологічні показники їх магнітного збагачення, що в комплексі дозволить отримувати концентрати з вмістом заліза більше 65%.

Ключові слова: змішані залізні руди, технологія збагачення, рудопідготовка, шламоутворення, магнітна сепарація, концентрат.

Проблема та її зв'язок з науковим і практичним завданням. В останні роки мінерально-сировинний комплекс України забезпечує близько 40% доходів держбюджету. Істотну частку валютних надходжень Україна отримує за рахунок експорту первинної мінеральної сировини, насамперед, залізорудного концентрату, агломерату, окатишів.

В надрах України зосереджена значна частина світових розвіданих запасів залізних руд. При загальній чисельності населення України, що становить приблизно 0,65% загальної чисельності населення Землі, країна забезпечує близько 15% світового видобутку залізорудної сировини. Видобуток і переробка залізорудної сировини становить основу економіки України.

У багатьох регіонах країни залізорудні підприємства, а також обслуговуючі організації, є містоутворюючими і забезпечують до 80% робочих місць. Криворізький залізорудний басейн є

основою всієї гірничодобувної галузі промисловості. В ньому широкими темпами видобуваються і переробляються на п'ятьох гірничо-збагачувальних комбінатах магнетитові кварцити, а руди, що мають часткове окиснення, з масовою часткою магнетиту в межах 5 – 15%, в даний час складуються, створюючи при цьому складну екологічну обстановку в місті.

Більшість залізородних родовищ утворилися в результаті магматогенних, седиментаційних (екзогенних) і метаморфічних процесів. Вони характеризуються, виключно, різноманітністю по геологічному віку, генетичним і морфологічними типами, розмірами та умовами залягання, а також по речовинному складу, збагачуваності і металургійним властивостям руд.

Основними мінералами, які визначають промислову цінність залізородних родовищ є магнетит, гематит, мартит, гетит. У змішаних (напівокислених) залізних рудах співвідношення головних рудних мінералів коливається в широких діапазонах в залежності від фізико-хімічних процесів метаморфогенного рудоутворення. Промислового використання цих руд, як сировинної бази для підприємств України немає.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблема регулювання процесу надрокористування в Україні та країнах СНД обговорювалася неодноразово з різних точок зору. Це пов'язано з тим, що в останні роки накопичений значний науково-технічний потенціал в області технологій з переробки залізородної сировини різного мінерального складу. У вітчизняній практиці залізородну сировину з масовою часткою заліза магнетитового до 15% практично не переробляється, а складається у відвали.

У країнах Далекого зарубіжжя зростають масштаби збагачення бідних змішаних руд різного мінерального складу. Причому, на багатьох підприємствах США, Канади, Китаю, видобувають і збагачують дані руди різного речовинного складу, вкрапленості і текстурно-структурних особливостей, ніж в Україні і країнах СНД.

Відомі випробування з процесу мокрої магнітної сепарації в слабкому і сильному полях при переробці магнетитово-гематитових тоноквкраплених таконітів, а також напівтаконітів шт.Міннесота і Мічиган. Ці руди потребують для розкриття рудних мінералів дуже тонкого подрібнення і, як правило, містять землистий гематит і гетит. При їх рудопідготовці, зазвичай утворюється велика кількість шламів, що погіршують показники збагачення. Це пов'язано з тим, що гематит (мартит) часто містить сліди магнетиту, але гетит (більш слабомагнітних мінерал ніж гематит), як правило вільний від феромагнітних мінералів. Тому селективність процесу магнітної сепарації порушується і отримати, концентрат високої якості при достатньому вилученні, не представляється можливим [1,2].

Змішані крупно вкраплені магнетитово-спекулярітові руди з переважанням більш крупно-вкрапленого гематиту над тонковкрапленим магнетитом в зарубіжній практиці збагачують за гравітаційно-магнітними схемами із застосуванням гвинтових сепараторів для отримання гематитового концентрату. Хвости гвинтових сепараторів доподрібнюються і подаються на магнітну сепарацію. Ці руди збагачують на фабриках Уобуш, КеролЛейк (Канада), БонгРейндс (Ліберія) [3,4].

Крім того, на фабриці Уобуш для доподрібнення більш тонкоподрібнених слабомагнітних мінералів із хвостів гвинтових сепараторів використовують високоградієнтні сепаратори Джонса, а для доведення гематитового концентрату гвинтових сепараторів – електричну сепарацію [5-7]. Гематитові концентрати на цих фабриках містять 65-66% заліза, магнетитові – 66-69% заліза залежно від ступеня подрібнення руди. Складність реалізації даних практичних результатів при переробці змішаних залізних руд в Україні та країнах СНД пов'язано насамперед з багатостадійністю і великою різноманітністю технологічних процесів та апаратів несумірних по продуктивності.

Широкий діапазон магнетитових властивостей рудних мінералів, що складають гематито-магнетитові руди значно ускладнює завдання комплексної переробки даної сировини [8].

Збагачуваність руд і масова частка заліза в кінцевих концентратах залежить від їх фізичних властивостей, що визначають розкриття рудних і нерудних мінералів у процесах дроблення і подрібнення і обумовлюють застосування тих чи інших методів збагачення.

Застосовувані в даний час технології переробки залізородної сировини в Україні та СНД вимагають вдосконалення, що зумовлено складною рудною базою розроблюваних родовищ і невисокою конкурентоспроможністю одержуваних концентратів.

Рішенням цієї задачі є збільшення повноти і комплексності використання залізорудної сировини, зниження витрат на її переробку шляхом впровадження нових технологій та економічних рішень, що часто буває, їх поєднання.

Головна умова використання нових технологічних рішень при переробці змішаних залізних руд знаходиться в області дослідження закономірностей їх подрібнення, розкриття рудних і нерудних мінералів, магнітної сепарації для знаходження оптимальних режимів та параметрів цих процесів для забезпечення максимального вилучення всіх рудних мінералів.

Методологічною основою вирішення проблеми підвищення ефективності використання напівокислених залізних руд є фундаментальні дослідження процесів подрібнення, магнітної сепарації в слабкому і сильному полях, удосконалення технології переробки руд на кращих збагачувальних підприємствах країн ближнього і далекого зарубіжжя.

Постановка завдання. На підставі вищевикладеного, були виконані дослідження з розробки екологічно безпечної і високоефективної технології переробки змішаних (напівокислених) залізних руд з одержанням концентрату, що відповідає вимогам європейської якості.

Викладення матеріалу та результати досліджень. Для експериментальних досліджень були представлені проби змішаних залізних руд Кривбасу. Вже на першому етапі досліджень у пробах, подрібнених до крупності 3-0 мм спостерігається підвищення утворення шламів. Масова частка шламів коливається від 5,1% до 8,6%. Більшою мірою до шламоутворення схильні магнетит-гематитові різновиди руд.

При подрібненні проб до прийнятої крупності першої стадії рудопідготовки 70 % класу - 0,074 мм масова частка шламистих частинок у пробах збільшилася до 15-19 %, а при подрібненні до крупності 95-96% класу - 0,044 мм, масова частка дисперсних частинок збільшується до 25-26%. Відомо, що утворені дисперсні частинки рудних і нерудних мінералів негативно впливають на подальший збагачувальний переділ [9,10].

Результати мінералогічного і хімічного аналізів досліджуваних проб свідчать про те, що магнетит асоціює з певною частиною кварцу, що значно ускладнює технології одержання високоякісного концентрату, з магнетитової, так і окисленої частин залізорудної сировини.

З метою визначення особливостей технологічних властивостей проб змішаних залізних руд використовувалися наступні варіанти: рудопідготовка з послідовним подрібненням і збагаченням; подрібнення і класифікація до граничної крупності кінцевого продукту з подальшим збагаченням.

Звертає на себе увагу та обставина, що при стадіальному магнітному аналізі знешламлених проб масова частка заліза в об'єднаних магнітних продуктах на 0,6-1,8% нижче порівняно з масовою часткою об'єданого магнітного продукту, отриманого за другим варіантом (рис. 1).

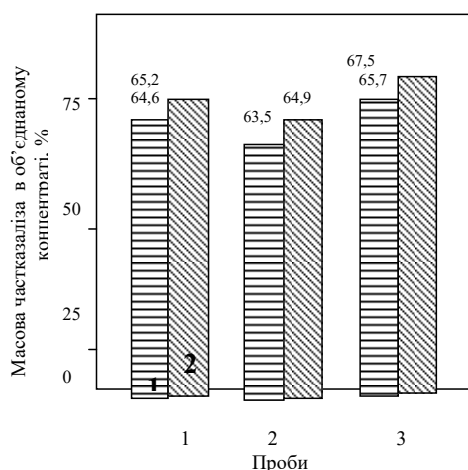


Рис. 1. Гістограми якісних показників магнітного аналізу проб пристайійній (1) і сумісній (2) стадій сепарації. Проби: 1 - гематит-магнетитова; 2 - магнетит - гематитова; 3 - гематит-силікат-магнетитова

Це підтверджує, що магнітні флокули, утворені після першої стадії сепарації значно погіршують подальший процес як рудопідготовки, так і магнітного розділення. Крім того, наявність дисперсного магнетиту в нерудних і малорудних зернах зумовлює порушення селекції при сепарації.

Отже, основним і визначальним чинником, що викликає порушення селекції при збагаченні змішаних (напівокислених) залізних руд у слабкому та сильному магнітних полях є текстурно-структурні особливості сировини - наявність зростків залишкового магнетиту з

гематитом, мартитом, кварцом.

На розподільчий процес мінеральних частинок змішаних руд в магнітному полі впливає їх крупність. Зі зменшенням крупності матеріалу тривалість його закріплення пропорційно зростає, внаслідок чого зменшується вилучення заліза в магнітний продукт.

Виділення сильномагнітних мінеральних частинок з підготовленої сировини досить ефективно при використанні сепараторів типу ПБМ.

Для вибору найбільш ефективного магнітного сепаратора при збагачення слабомагнітних мінеральних частинок випробовувалися апарати з горизонтальним і вертикальним напрямком вектора індукції магнітного поля. Напрямок вектора індукції магнітного поля в сепараторі впливає на процес розділення змішаних залізних руд, так як може збігатися або не збігатися з напрямком подачі вихідного живлення. У разі збігу цих векторів зменшується ймовірність перекриття робочих зазорів сепараторів сильномагнітними частками (магнетиту), які присутні в живленні. При розбіжності векторів індукції поля та подачі вихідного живлення небезпека заростання робочих зазорів збільшується.

Для проведення випробувань магнітного збагачення змішаних залізних руд з горизонтальним напрямком вектора індукції магнітного поля використано стендовий роторний сепаратор, створений ТОВ „НТЦ МАГНИС ЛТД“, робочі матриці якого виконані у вигляді зубчатих пластин. З вертикальним напрямком вектора індукції магнітного поля використовувався високоінтенсивний магнітний сепаратор LGS WHIMS компанії LONGI (Китай), робочі матриці якого являють собою стрижневі ферозаповнювачі. Крім того, в робочій зоні даного сепаратора встановлений пульсатор, що забезпечує періодично, з заданою частотою, повернення пульпи в матрицю, що сприяє підвищенню точності процесу поділу.

Як показали результати досліджень (табл. 1) застосування в технології збагачення високоградієнтних сепараторів LONGI окисленої гілки схеми сприяє отриманню більш якісного концентрату при значних скорочення втрат заліза у хвостах. Це досягається за рахунок низького розсіювання магнітного потоку, рівномірність індукції магнітного поля в робочій зоні сепаратора. Крім цього, при подачі вихідного живлення і змивна вода розходяться в протилежних напрямках стосовно матриць, сприяючи само розвантаженню досить великих часток рудної маси, що не пройшли крізь зазори в матриці.

Таблиця 1

Порівняльні випробування збагачення змішаних залізних руд на сепараторах ЕРЛ та LONGI

Вихідний продукт, сепаратор	Масова частка Fe _{заг} , %	Магнітний продукт, %			Немагнітний продукт, %		
		вихід	масова частка заліза	вилучення	вихід	масова частка заліза	вилучення
Магнетит-гематитова руда, сепаратор ЕРЛ	28,7	28,9	62,7	63,1	71,1	14,9	36,9
Магнетит-гематитова руда, сепаратор LONGI	28,7	30,1	63,8	66,9	69,9	13,6	33,1
Гематит-магнетитова руда, сепаратор ЕРЛ	23,4	17,9	61,1	46,7	82,1	15,2	53,3
Гематит-магнетитова руда, сепаратор LONGI	23,4	18,1	62,4	48,3	81,9	14,8	51,7
Гематит-силікат-магнетитова руда, сепаратор ЕРЛ	26,3	18,1	60,8	41,8	81,9	18,7	58,2
Гематит-силікат-магнетитова руда, сепаратор LONGI	26,3	22,8	62,5	54,2	77,2	15,6	45,8

На підставі досвіду роботи передових зарубіжних фабрик, що переробляють аналогічну сировину, а також на основі власних експериментальних досліджень визначено технологічні можливості магнітного збагачення змішаних залізних руд з попередньою підготовкою сировини до збагачення.

Операція знешламлення сприяє високоефективному веденню процесу магнітного збагачення, як в сильному, так і слабкому магнітних полях.

Рекомендована технологія збагачення змішаних руд дозволить отримувати сумарний товарний концентрат з масовою часткою заліза загального 66,2% при вилученні 75,1%. Така технологія буде сприяти комплексної переробки залізородної сировини та забезпечить конкурентоспроможність товарної продукції.

Висновки і напрямки подальших досліджень. Виконані дослідження дозволили розробити і рекомендувати до впровадження нові технічні рішення комплексної переробки змішаних (напівокислених) залізних руд, забезпечуючи при цьому, отримання високоякісного товарного концентрату з масовою часткою заліза 65-66,2%.

Список літератури

1. Остапенко П.Е. Теория и практика обогащения железных руд. – М.: Недра, 1985. – 207 с.
2. Звягинцев А.Г. Новые методы магнитной обработки пульпы при обогащении железосодержащих руд / А.Г. Звягинцев, А.Н.Чеменин, В.В.Шархов, О.В. Горячко // VIII Конгресс обогатителей стран СНГ. – II том. – М.: МИСиС, 2011. – С. 46-49.
3. Ломовцев Л.А., Нестерова Н.А., Дробченко Л.Л. Магнитное обогащение сильномагнитных руд. – М.: Недра, 1979. – 235 с.
4. Кравцов В.Н. Новые решения по обогащению железорудного сырья/ В.Н. Кравцов, Г.Г.Тимофеев, Н.К.Кравцов // VIII Конгресс обогатителей стран СНГ. – II том. – М.: МИСиС, 2011. – С. 49-51.
5. Авдохин В.М. Современное состояние и основные направления развития процессов глубокого обогащения железных руд / В.М. Авдохин, С.Л.Губин // Горный журнал. – 2002. – №2. – С. 58-64.
6. Джонс Д.Х. Сепаратор для мокрой магнитной сепарации слабомагнитных материалов / Д.Х. Джонс // Международный Конгресс по обогащению полезных ископаемых. – М.: Госгортехиздат, 1963. – С. 424-436.
7. Ломовцев Л.А., Кравец Б.А., Давыдов Ю.А. Оборудование для магнитного обогащения слабомагнитных руд за рубежом. – М.: 1985. – Сер.обогащение руд. – Вып. 2. – 23 с.
8. Масленицкий Н.Н., Беликов В.В. Химические процессы в технологии переработки труднообогатимых руд. – М.: Недра, 1983. – 384 с.
9. Грицай Ю.Л. Исследования по закреплению дисперсных рудных минералов на поверхности кварца при измельчении железистых кварцитов / Ю.Л. Грицай, М.В. Педан, З.Ф. Герасимова // Обогащение руд черных металлов. – М.: Недра, - 1980. – С.3-9.
10. Тарасенко В.Н. Совершенствование процесса извлечения рудных минералов при магнитном обогащении гипергенно-измененных железистых кварцитов Кривбасса / В.Н. Тарасенко, В.Н.Кравцов, Н.К. Кравцов // Геолого-мінералогічний вісник. – Кривий Ріг: КТУ. – 2000. - № 1-2 (3-4). С. 100-104.

УДК 622.272

С.В. ТИЩЕНКО, д-р техн. наук, Г.И. ЕРЕМЕНКО, канд. техн. наук,
Криворожский национальный университет
Д.Ю. МАЛЫХ, ПАО «ИнГок»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА НА РАЗРУШАЕМЫЙ ГОРНЫЙ МАССИВ

Цель. При моделировании импульсного воздействия взрыва скважинного заряда на разрушаемый горный массив, сплошную среду, в виде горного массива, рассматривают как абсолютно несжимаемую, пренебрегая изменением ее объема. Вторым условием является допущение, что взрыв скважинного заряда происходит мгновенно.

Методы исследования. Энергия, выделяющаяся при взрыве, имеет конечную величину, поэтому и кинетическая энергия среды также будет конечной. Это обуславливает конечные значения скоростей частиц среды. При условии мгновенного действия взрыва частицы среды лишь получают некоторую начальную скорость, с которой будут двигаться уже после того, как закончится фаза импульсного действия взрыва.

Научная новизна. Установлено, что образование поля скоростей и связанного с ним количества движения, должно отвечать импульсу внешних сил. Так как при взрыве скважинного заряда взрывчатого вещества передается конечное количество кинетической энергии, то и образующееся количество движения, а, следовательно, и импульс взрыва имеют конечные значения.

Результаты. На поверхности заряда значение i можно считать постоянным. Это условие выполняется, если зарядная камера равномерно заполнена взрывчатым веществом и детонация последнего приближается к мгновенной. В этом случае давление от взрыва оказывает одинаковое воздействие на все участки поверхности зарядной камеры скважинного заряда. Численное значение удельного импульса взрыва определяется по балансу энергии, сообщаемой взрывом среде.

Ключевые слова: удельный импульс, скважинный заряд, горный массив, взрыв, баланс энергии

Проблема и ее связь научными практическими заданиями. На железорудных карьерах ежегодно увеличивается удельный вес ведения горных работ на нижних горизонтах, а соответственно и буровзрывных работ.

Анализ исследований и публикаций. Существующие методы ведения взрывных работ на железорудных карьерах в некоторой степени позволяют достичь необходимого качества взорванной горной массы. Этого достигают путем изменения параметров буровзрывных работ и увеличения удельного расхода взрывчатых материалов. При этом, в отдельных случаях, наблюдаются увеличение выхода негабаритной фракции и увеличение мелкой фракции за счет неэффективного использования энергии взрыва. Поэтому совершенствование буровзрывных работ