

<https://doi.org/10.15407/geotech2020.32.058>
УДК 622.7:621.7

Губіна В.Г., Курочкін Г.М., Губін Г.Г., Короленко М.К.

Губіна В.Г., канд. геол. - мін. н., ст. н. сп., пр. н. сп. ДУ «ІГНС НАН України», ORCID:0000-0001-7486-5451, gvg131619@gmail.com

Курочкін Г.М., ст. викладач, Криворізький Національний університет

Губін Г.Г., к.т.н., доцент, Криворізький Національний університет, gennadiy.gubin@gmail.com

Короленко М.К., голова правління-генеральний директор ЗАТ «ЗЖРК»

МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ СЛАБОМАГНІТНИХ МІНЕРАЛІВ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ КРИВБАСУ

З метою зменшення втрат металу після подрібнення в процесі збагачення проведено вивчення магнітних властивостей мінералів і визначено здатність до флокуляції мономінеральних фракцій слабомагнітних породоутворюючих мінералів окислених кварцитів Кривбасу. Досліджено мономінеральні фракції гематиту, мартиту, гетиту, сидериту і кварцу, які не є абсолютно чистими, а містять включення інших мінералів, включаючи тонковкруплений магнетит, який не розкривається навіть у класі -5 мкм. Так, кварц може містити від 0,03 до 0,7% магнетиту. Залишкова намагніченість і коерцитивна сила тонких частинок кварцу розміром 5 мкм у два рази більші за ті ж показники у частинок гетиту. Це є однією з причин засмічення магнітних продуктів. Проведені експериментальні дослідження підтвердили наявність процесу флокулоутворення в процесі збагачення. У продуктах із підвищеною масовою часткою магнетиту в полях напруженості до 800 кА/м утворюються флокули з частинок магнетиту. Тяжіння слабомагнітних частинок до них незначне. При збільшенні індукції поля флокули притягуються між собою, на них поступово налипають частинки слабомагнітних мінералів, особливо при напруженості понад 400 кА/м, а при 800 кА/м це вже більш об'ємні агрегати-флокули, побудовані паралельними ланцюжками в напрямку поля. Зі зменшенням розмірів частинок гематиту, мартиту і гетиту тяжіння у флокули відбувається при менших відстанях між ними. Спільне намагнічування великих і дрібних частинок полегшує флокулоутворення, особливо в полі 800 кА/м. Результати досліджень пояснюють порівняно низькі показники магнітного збагачення окислених кварцитів, а дані з флокуляції слабомагнітних мінеральних часток допомагають полішити показники збагачення.

Ключові слова: окислені кварцити, намагніченість, магнітна сила, коерцитивна сила, флокулоутворення

Вступ. У теперішній час в Україні основною сировиною для виробництва залізородних концентратів є магнетитові кварцити. Але поглиблення кар'єрів і погіршення якості сировини веде до зростання собівартості видобутку і збагачення не тільки руди, а й агломерату, окатишів, чавуну та сталі.

Як відомо, верхня частина розрізів п'ятого, шостого та сьомого залізистих горизонтів продуктивної саксаганської світи в родовищах Криворізького басейну є зоною інтенсивних гіпергенних змін. Утворена вона так званими окисленими кварцитами – мартитовими, залізнослюдко-мартитовими, мартит-залізнослюдковими, дисперсногематит-мартитовими. На початку роботи гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) Кривбасу запаси на окислені кварцити були підраховані лише на Південному, АрселорМіттал Кривий Ріг (колишній Ново-Криворізький ГЗК) та Центральному ГЗК. На перших двох комбінатах вони складувались в окремі відвали, а на Центральному ГЗК збагачувались за випал-магнітною схемою. Але з огляду на екологічні і економічні чинники це збагачення було зупинено. Тому крім затверджених запасів окислених ква-

рцитів у надрах на балансі підприємств числяться запаси окислених кварцитів, що закладовані в відвалах. Опубліковано дані, з яких випливає, що в Криворізькому басейні зосереджено понад 50 млрд т цього типу руд [1].

З огляду на сказане буде доцільним приступити до розвідки і більш детального вивчення окислених кварцитів, давати їм техніко-економічну оцінку й переходити до проектування і експлуатації цих руд. Технічні можливості для збагачення окислених кварцитів є на чотирьох із п'яти ГЗК за рахунок наявності двох збагачувальних фабрик, одну з яких можна переобладнати під такі цілі.

Збагачення окислених крупно- й тонковкруплених залізних руд здійснюється в Бразилії, США та Австралії із 70-х років минулого століття.

Чисельні дослідження збагачення тонковкруплених окислених кварцитів у сильному магнітному полі вказують на труднощі, що не дозволяють отримати високосортні концентрати [1-8].

Авторами даної публікації виконано роботу щодо додаткового вивчення магнітних властивостей

мінералів у полях високої напруженості й досліджено їх флокуляційні властивості.

Аналіз дослідження і публікації. Для крупно-вкраплених руд застосовується здебільшого мокра магнітна сепарація в сильному магнітному полі, для тонко- і вельми тонковкраплених - флотація.

В Австралії для магнітного збагачення використовують сепаратори продуктивністю 250 т/год. Такі високоградієнтні сепаратори з «киплячим шаром», що розроблені в Польщі, можуть виготовлятися з продуктивністю 400, 800 і 1400 т/год. Всі вони мають головну особливість, а саме, на переробку спрямовується грубозернистий знешламлений багатий матеріал. З іншого боку, відомий досвід роботи підприємства Тілден у штаті Міннесота (США), де є значні запаси окислених таконітів, для яких досліджували різні методи збагачення, у тому числі поліградієнтну магнітну сепарацію, флотацію і випалмагнітний метод, але всі вони не дали позитивних результатів. І лише технологія Гірничого бюро США, котра полягає у застосуванні селективної флокуляції в поєднанні із зворотною катіонною флотацією, привела до успіху. В цьому процесі використовують такі реагенти як аміни і крохмаль.

Складність збагачення руди Тілдена полягає в тому, що задля розкриття мінеральних частинок руди необхідне подрібнення до 75-80 % класу крупності < 20 мкм, тобто перетворення її на високошламмовий матеріал. Прецедентів у збагаченні руд такої крупності механічними способами до цього не було.

Гематито-мартитові руди Кривбасу – слабомагнітні породи, які містять до 40 - 42 % заліза. За розмірами рудної вкрапленості вони відносяться до тонковкраплених та досить тонковкраплених залізистих порід.

У результаті досліджень мокрої поліградієнтної магнітної сепарації інститутом «Механобрчормет» (м. Кривий Ріг) розроблено технологію збагачення гематитових кварцитів. За цією схемою передбачалось одержання концентрату з масовою часткою заліза 62-62,5 % і витягу металу 70 %.

Результати промислового випробування на Центральному ГЗК показали, що масова частка заліза в концентраті склала лише 61% при витягу 70 %.

Міжциклове виділення концентрату при магнітному і флотаційному збагаченні приводить до підвищення якості до 64,1 %, при витягу заліза 70,5 %.

Мета статті - дослідження намагніченості тонких класів крупності та процесу селективної флокуляції окислених залізних руд Кривбасу для поліпшення показників їх магнітного збагачення в сильному магнітному полі.

Матеріали та методи дослідження

Робота виконувалась у лабораторних умовах. Мономінеральні фракції виділялись за допомогою вібраційного подрібнювача (КИД-60); гравітаційного аналізатора з біжучим полем; гравітаційного і седиментаційного аналізів. Магнітні властивості мономінеральних фракцій вивчались за допомогою вібромагнітометра MicroMag 3900. Процес флокуляції і сталості флокул досліджувався на установці, що включає електромагніт (ФЛ-1) і дозволяє отримати магнітне поле з напруженістю до 1600 кА/м, та мікроскопом із вбудованим фотоапаратом.

Викладення матеріалу та результати. Труднощі збагачення слабомагнітних залізних руд пов'язані з їх посиленням шламуванням. Аналіз продуктів збагачення показав, що основні втрати заліза припадають на класи крупності менше 10-20 мкм.

На рис. 1 приведено залежність утворення класу -10 мкм від крупності подрібнення.

З підвищенням ступеню подрібнення, збільшенням масової долі класу -45 мкм підвищується масова доля класу -10 мкм, що призводить до збільшення ступеню зашламування, що ускладнює процес збагачення будь-яким механічним способом.

На рис. 2 показано залежність магнітної сили F_m від крупності часток мартиту і гідрооксидів.

Магнітна сила слабомагнітних мінералів підвищується із збільшенням розміру частинок мінералів у даному діапазоні крупності. Причому магнітна сила тяжіння у мартиту вища, ніж у гідрооксидів заліза. Дрібні частинки при їх утворенні в процесі подрібнення закріплюються на більш крупних, що призводить до зменшення магнітних властивостей і зниження селективності розділення мінералів (рис. 1).

В даній роботі наведено результати досліджень слабомагнітних мономінеральних фракцій гематиту, мартиту, гетиту, сидериту і кварцу. При цьому необхідно враховувати, що як природні мінерали, так і підготовлені мономінеральні фракції не є чистими. Вихідний кварц вміщує значну кількість елементів-домішок, серед яких домінує залізо. Присутній тонковкраплений магнетит, який не розкривається навіть у класі -5+0 мкм, вносить свою частку в магнітні властивості мінералів. Наприклад, у природному кварці містяться включення магнетиту в кількості від 0,03 до 0,7 % [9]. Саме цим, на нашу думку, пояснюється те, що намагніченість насичення тонких класів (< 10 мкм) кварцу більша за такий самий показник мартиту й гетиту. Залишкова намагніченість і коерцитивна сила тонких класів кварцу порівняна з тими ж показниками гетиту і сидериту. Причому залишкова намагніченість частинок кварцу розмі-

ром -5 мкм у два рази більша за цей же параметр частинок гетиту такого ж розміру. Це може бути однією з причин засмічення магнітних продуктів тонкоподрібненим кварцом при магнітному збагаченні руди.

Наші досліди вказують на неоднозначність залежності властивостей досліджених мінералів від їх крупності (табл. 1).

Дані таблиці засвідчують, що залишкова питома намагніченість для мартиту, гематиту, гетиту і сиде-

риту має найбільші значення в класах крупності -45+20 мкм та -20+10 мкм, а для кварцу - в класах крупності -45+20 мкм і найдрібнішій фракції -5+0 мкм.

Найбільш яскраво ця залежність проявляється для гематиту (рис. 3).

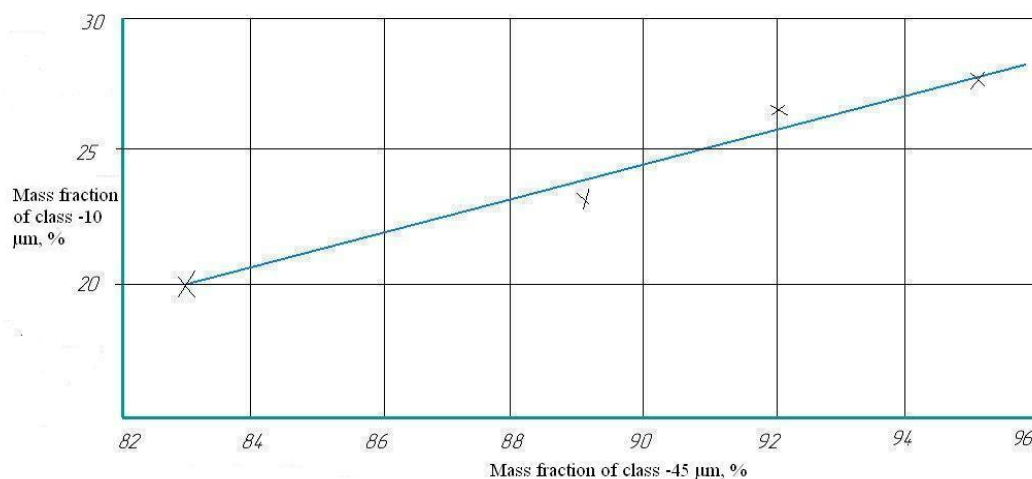


Рис.1. Утворення класу -10 мкм у подрібнених окислених кварцитах, у залежності від крупності подрібнення
Fig. 1. Obtaining 10 μm class fraction in crushed oxidized quartzites, depending on the size of grinding

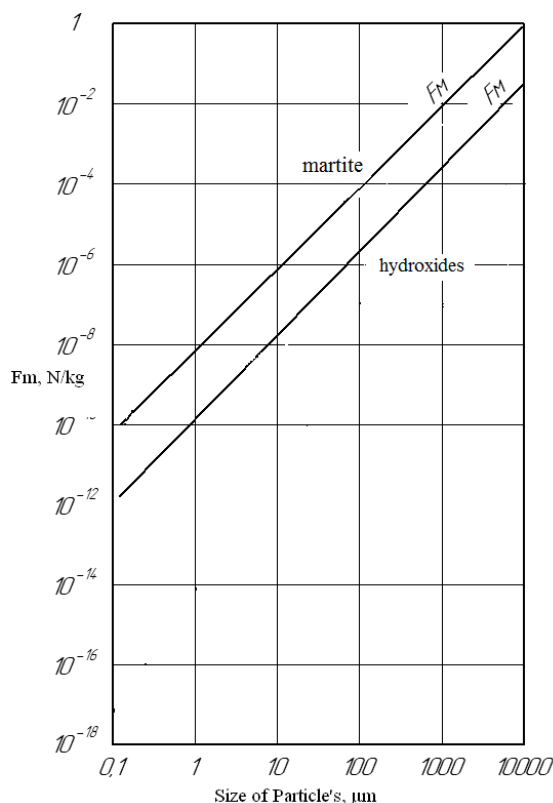


Рис.2. Залежність магнітної сили (Fm) від крупності часток мартиту і гідрооксидів
Fig. 2. Dependence of magnetic force (Fm) on the particle size of martite and hydroxides

Таблиця 1. Залишкова питома намагніченість та коерцитивна сила мінералів криворізьких окислених кварцитів
Table 1. Residual specific magnetization and coercive force of minerals of Kryvyi Rig oxidized quartzites

| Класи крупності, мкм | Мінерали | | | | |
|--|----------|---------|-------|---------|-------|
| | Мартит | Гематит | Гетит | Сидерит | Кварц |
| Залишкова питома намагніченість, Ам/кг | | | | | |
| -250+160 | 0,089 | 0,136 | 0,013 | 0,022 | 0,006 |
| -160+100 | 0,104 | 0,101 | 0,003 | 0,018 | 0,004 |
| -100+74 | 0,106 | 0,093 | 0,007 | 0,006 | 0,005 |
| -74+45 | 0,164 | 0,108 | 0,01 | 0,007 | 0,006 |
| -45+20 | 0,237 | 0,152 | 0,017 | 0,038 | 0,088 |
| -20+10 | 0,223 | 0,173 | 0,026 | 0,064 | 0,033 |
| -10+5 | 0,190 | 0,27 | 0,015 | 0,051 | 0,043 |
| -5+0 | 0,145 | 0,3 | 0,03 | 0,00 | 0,069 |
| Коерцитивна сила, кА/м | | | | | |
| -250+160 | 1,9 | 20,6 | 6,2 | 1,2 | 15,90 |
| -160+100 | 2,8 | 3,15 | 3,8 | 1,4 | 5,6 |
| -100+74 | 4,2 | 3,0 | 3,0 | 1,1 | 5,6 |
| -74+45 | 7,45 | 8,7 | 2,9 | 1,0 | 3,2 |
| -45+20 | 27,5 | 5,5 | 3,6 | 2,8 | 5,2 |
| -20+10 | 43,5 | 10,3 | 4,2 | 3,7 | 4,2 |
| -10+5 | 55,0 | 7,8 | 4,5 | 6,0 | 4,1 |
| -5+0 | 64,0 | 16,8 | 4,9 | ... | 4,2 |

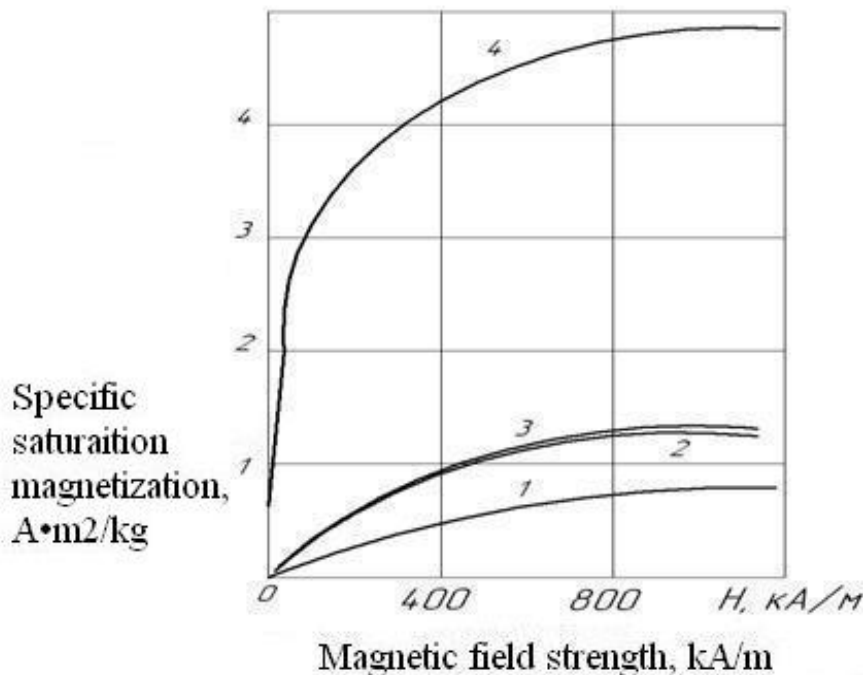


Рис.3. Залежність питомої намагніченості насичення гематиту від напруженості магнітного поля для різної крупності гематиту: 1.- 160+45 мкм; 2.- 45+20мкг; 3.- 20+10мкг; 4.- 10+0мкм.

Fig. 3. Dependence of the specific magnetization of hematite saturation on the magnetic field strength for different hematite fractions: 1.- 160 + 45 μm ; 2.- 45 + 20 mcg; 3.- 20 + 10 mcg; 4.- 10 + 0 μm .

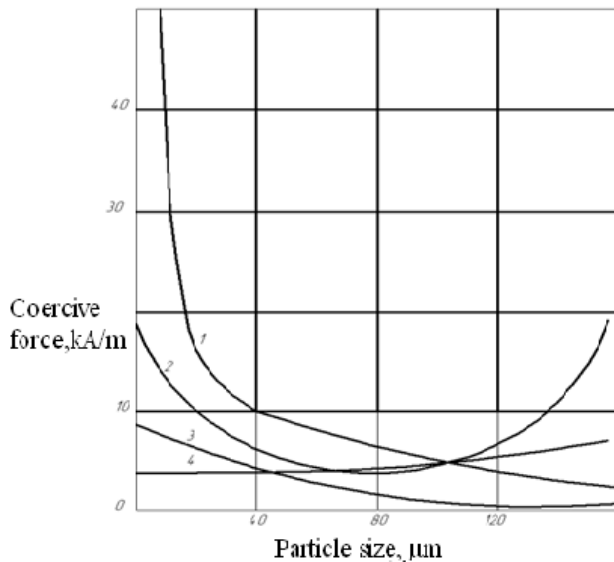


Рис.4. Залежність коерцитивної сили мінералів окислених кварцитів від крупності:

1. Мартит. 2. Гематит. 3. Сидерит. 4. Гетит

Fig. 4. Dependence of coercive force of oxidized quartzite minerals on size:

1. Martite. 2. Hematite. 3. Siderite. 4. Goethe

Гематит різної крупності починає насичуватися після 1000-1200 кА/м. Магнітні властивості гематиту мають свій пік у класі $-10+5$ мкм. При подальшому зменшенні крупності частинок магнітні властивості гематиту, крім коерцитивної сили, зменшуються.

Це свідчить про те, що розміри однодомної структури гематиту знаходяться в межах 10 мкм. У всіх класах крупності, крім $-5+0$ мкм, наростання магнітних властивостей пов'язане зі збільшенням масової частки магнетиту в гематиті. І тільки в класі $-5-0$ мкм відбувається різке зниження магнітних властивостей, що пов'язано з руйнуванням однодомної структури часток мінералу при подрібненні.

Дослідження залежності коерцитивної сили від крупності показали, що тільки у мартиті вона яскраво виражена. Зі зменшенням розміру частинок цей параметр досягає найбільшого для всіх мінералів значень (рис. 4).

Така залежність характерна для феромагнетиків, наприклад, для магнетиту. У гематиті такої залежності немає, а у сидериті зі зменшенням крупності, починаючи з 40 мкм, коерцитивна сила збільшується.

З метою поліпшення показників магнітного збагачення окислених кварцитів у сильному полі авторами цієї статті вивчався процес флокуляції мономінеральних фракцій породоутворюючих слабомагнітних мінералів. Процес флокулоутворення досліджувався під мікроскопом в однорідному магнітному полі напруженістю до 800 кА/м на частинках тонких класів крупності.

У продуктах із підвищеною масовою часткою магнетиту (в основному сидерит і гематит крупністю 0,01 мм) утворюються флокули з частинок магнетиту. Тяжіння до них слабомагнітних частинок незначне. При збільшенні індукції поля ці флокули притягуються між собою, а на них поступово нали-

пають частинки основних слабомагнітних мінералів, особливо при напруженості вище 400 кА/м, а при напруженості 800 кА/м – це вже об'ємні агрегати – флокули з магнетитових частинок, оточені частинками основних мінералів, збудовані паралельними ланцюжками в напрямку поля. Чим менша масова частка магнетиту, тим менше цих флокул і агрегатів і тим менша їх довжина.

Флокулоутворення частинок слабомагнітних мінералів вивчено на окремих частинках і їх сукупності при відстані між центрами частинок, що дорівнює 1,3-2,2 діаметра частинок і відповідає 0-20 % твердої фази в пульпі. При напруженості 40-80 кА/м відбувається розгорнення частинок легкої вісі намагнічування вздовж напрямку поля. Причому частки гематиту і гетиту встановлюються переважно за довжиною осі перпендикулярно напрямку поля, що говорить про існуючий напрямок легкої осі намагнічування. Для частинок гематиту розміром 10 мкм у полі напруженістю 400 кА/м тяжіння починається при відстані близько 1,5 діаметри частинки. В полі напруженістю 640-800 кА/м тяжіння у флокули починається з відстані близько 2 діаметри частинки. Частинки гетиту розміром 100 мкм притягуються приблизно з тих же відстаней, незважаючи на більш низьку намагніченість, що обумовлено кращим зважуванням у важкій рідині і меншими силами тертя об дно кювети. Частинки мартиту притягуються з відстаней, приблизно на 30 % більших. Зі зменшенням розмірів частинок гематиту, мартиту і гетиту тяжіння у флокули відбувається при менших відстанях між ними. Так, для частинок крупністю 50 мкм відносна відстань тяжіння приблизно на 40 % менша, ніж для частинок розміром 100 мкм. Для мартиту і гетиту крупністю більше 25 мкм відносна відстань приблизно в два рази менша, ніж для крупності 200 мкм. Для частинок гематиту розміром 25 мкм відносна відстань тяжіння тільки на 10 % менша,

ніж для крупності 100 мкм, що обумовлено зростанням намагніченості дрібних частинок.

Слід зауважити, що деякі частинки не притягуються під флокули в полі 800 кА/м навіть з відстані 1/3 діаметра частинки. Вважаємо, що це зумовлено поверхневим магнетизмом.

Спільне намагнічування крупних частинок з дрібними трохи полегшує флокулоутворення для дрібних частинок, за рахунок утворення їх флокул з крупними, особливо у полі 800 кА/м.

Наведені результати досліджень свідчать про реальність флокулоутворення і були використані для створення флокулятора і знаходження оптимальних умов магнітного збагачення на поліградієнтних сепараторах із використанням попередньої флокуляції.

Висновки.

Проведені дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Залишкова намагніченість і коерцитивна сила тонких частинок кварцу розміром 5 мкм у два рази більша, ніж той же показник у частинок гетиту за рахунок домішок магнетиту у кварці та монофракціях у подрібненому продукті. Намагніченість насичення тонких класів (менше 10 мкм) кварцу більша

Література

1. Николенко Е.М. О стратегии развития геолого-разведочных работ в Криворожском железорудном бассейне // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. - №7. – С.115-117.
2. Грицай Ю.Л., Герасимова З.Ф., Богданова И.П. Исследование изменения магнитных свойств минералов окисленных железных руд после намагничивания. Обогащение руд черных металлов. М. «Недра». – 1976. – С. 73-81.
3. Применение высокоинтенсивных магнитных сепараторов для доизвлечения слабомагнитных окислов железа из хвостов обогащения// *Экспресс-информация УНИИТЭН ЧМ. Серия Обогащение руд*. Вып.11 – М., 1982. – С.1-5.
4. Селективная флокуляция шламов окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения с применением активной кремнекислоты/Л.А. Барский, Э.А. Шрадер, С.А. Степанов и др.// *Комплексное освоение месторождение бассейна КМА. Сб. науч. Тр. Ин-та проблем компл. освоения недр АН СССР*. – М., 1990. – С.129-138.
5. Бартник Е.А., Висмут Г.Д. Обогащение мартигитизированной железной руды с применением высокоинтенсивных сепараторов Джонс, работающих в мокром режиме.// *Erzmetall*, 1985. – №5. – С.243-249.
6. Ширяев А.А., Величко Ю.В., Ботвинников В.В. Особенности технологии подготовки и обогащения окисленных железистых кварцитов со стадийным выделением концентрата / *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2005. - №4. - С. 86-88.

за той самий показник у мартиті й гетиті, що є однією з причин засмічення магнітних продуктів.

2. З підвищенням ступеню подрібнення підвищується масова доля класу -10 мкм, що призводить до збільшення ступеню зашламування, а це ускладнює процес збагачення будь-яким механічним способом.

3. Магнітна сила слабомагнітних мінералів підвищується в діапазоні 0,1 -10000 мкм. Магнітна сила тяжіння у мартигу вища, ніж у гідроксидів заліза.

4. Залежність коерцитивної сили від крупності подрібнення мінералів показала, що тільки у мартигу вона яскраво виражена. Зі зменшенням розміру частинок цей параметр досягає найбільшого значення для всіх мінералів.

5. Зі зменшенням розмірів частинок гематиту, мартигу і гетиту тяжіння у флокули відбувається при менших відстанях між ними. Спільне намагнічування великих часток з дрібними трохи полегшує флокулоутворення, особливо у полі 800 кА/м.

6. Магнітні властивості залежать як від магнітних властивостей основних мінералів, так і від присутності в них магнетиту. Отримано неоднозначну залежність магнітних характеристик від крупності частинок. Визначено відстані, починаючи з яких відбувається тяжіння частинок у флокули.

7. Соколова В.П., Зима С.Н., Воробьёв Н.К. Исследование раскрытия минеральных фаз окисленных железных руд в связи с выбором рациональной технологии обогащения / Сб. тр. КТУ. Разработка рудных месторождений, №83. - 2003. – С.105-109.

8. Соколова В.П., Габура А.В. К вопросу обогащения окисленных железных руд Ингулецкого месторождения / Сб. тр. КТУ. Разработка рудных месторождений. - 2003. - №84. – С.153-158.

9. Минералогия Криворожского бассейна. Под ред. Е.К. Лазаренко. – К.: Наукова думка. – 1977. – 541с.

Reference

1. Nikolaenko E.M. (2013), *Metallurgical and Mining Industry*. - Vyp. 7, Dnipro UA, pp. 115-117.
2. Gritsay U.L., Gerasimova Z.F., Bogdanova I.P. (1976), *Investigation of changes in the magnetic properties of minerals of oxidized iron ores after magnetization. Enrichment of Ferrous Ores*. Moscow, RU, pp. 73-81.
3. The use of high-intensity magnetic separators for the extraction of weakly magnetic iron oxides from tailings (1982), *Express information UNIITEN World Cup. Series Ore beneficiation*. Moscow, RU, pp. 1-5.
4. L.A. Barskiy, E.A. Shraeder, S.A. Stepanov (1990), *Collection of scientific papers of the Institute for Integrated Subsoil Development of the Academy of Sciences of the USSR*, pp. 129-138.
5. Bartnik E.A., Vismut G.D. (1985), *Erzmetall*. - Vyp. 5. Germany, pp. 243-249.

6. Shiryayev A.A., Velichko U.V. (2005), Metallurgical and Mining Industry. - Vyp. 4, Dnipro UA, pp. 86-88.
7. Sokolova V.P., Zima S.N., Vorob'yov N.K. (2003), Ore Mining. - Vyp. 83, Kriviy Rig, UA, pp. 105-109.
8. Sokolova V.P., Gabura A.V. (2003), Ore Mining. - Vyp. 83, Kriviy Rig, UA, pp. 153-158.
9. Mineralogy of the Kryvyi Rih basin (1977), 541p.

MAGNETIC PROPERTIES OF WEAK-MAGNETIC MINERALS OF KRYVBASS IRON QUARTZITES

Hubina V., Ph. D. (Geol.-Min.), Senior Research Fellow, Leading Researcher, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID:0000-0001-7486-5451, gvg131619@gmail.com

Kurochkin G., Senior Lecturer, Kryvyi Rig National University, gvg131619@mail.ua

Hubin G., Ph. D. (Techn.), Associate Professor, Kryvyi Rig National University, gennadiy.gubin@gmail.com

Korolenko M., Head of the Board and General Director of ZAT "ZHRK", info@zgrk.com.ua.

To reduce the metal loss after grinding in the ore-dressing process, the authors studied the magnetic properties of minerals in Kryvyi Rig oxidized quartzites and determined the possibility of their flocculation. Monomineral fractions of hematite, martite, goethite, siderite, and quartz were studied. These minerals have a weak magnetism. It should be borne in mind that the monomineral fractions are not absolutely pure, some of them contain finely disseminated magnetite, which does not unfold even in the 5 micron class. For example, quartz contains from 0.03 to 0.7% of magnetite. The residual magnetization and coercive force of fine quartz particles with a size of 5 microns is twice as large as that of goethite particles. This is one of the causes of clogging of magnetic products. The experimental studies have confirmed the presence of the process of flocculation. In products with an increased mass fraction of magnetite in fields of strength up to 800 kA / m, floccules are formed from magnetite particles. The attraction of weakly magnetic particles to them is insignificant. With an increase in the field induction, floccules are attracted to each other, particles of the main weakly magnetic minerals gradually flocculate on them, especially at strength above 400 kA / m, while at 800 kA / m floccules form more voluminous aggregates arranged in parallel chains in the direction of the field. With a decrease in the particle size of hematite, martite, and goethite, attraction to floccules occurs at smaller distances between them. The joint magnetization of large particles with small ones somewhat facilitates flocculation, especially in a field of 800 kA / m. The research results presented in the article explain the relatively low indicators of the magnetic enrichment of the oxidized quartzites, and the data on the flocculation of the weakly magnetic mineral particles help to improve the indicators of enrichment.

Key words: oxidized quartzite, magnetization, magnetic force, coercive force, flocculation