

МЕТОД ОТРИМАННЯ ВИСОКИХ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗБАГАЧЕННЯ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ОКИСЛЕНИХ РУД

Мета. Визначення можливості отримання високоякісного концентрату при збагаченні окислених залізистих кварцитів.

Методи дослідження. Аналіз раніше виконаних досліджень і розробок з переробки окислених залізних руд в Україні, СНД і країнах далекого зарубіжжя. При аналізі технологій переробки окислених 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 переробки окислених залізистих кварцитів досягається шляхом оптимізації глибини їх збагачення, дозволяючи визначити граничні умови механічних методів розділення на основі розкриття, знешламлювання, магнітної сепарації мінеральних компонентів. Вибір оптимального технологічного обладнання для збагачення змішаних руд здійснюється на основі показників ефективності розділення.

Практична значимість. Підвищення ефективності процесів рудопідготовки і магнітної сепарації завдяки оптимізації глибини збагачення, зниженні процесу шламоутворення, та на основі поліпшення параметрів розкриття і сепарації мінеральних компонентів.

Результати. З'ясовано, що одним з основних методів збагачення окислених кварцитів є магнітне збагачення сировини у сильному полі. При використанні цього процесу основною проблемою отримання високоякісних концентратів є взаємна флокуляція рудних та нерудних частинок, а також наявність у сировині гідроксидів заліза, що утворюють плівку на поверхні нерудних мінералів і тим самим, за рахунок вилучення цих комплексів у концентрат, знижують якість кінцевих продуктів. На цій підставі виконано дослідження з магнітного збагачення окислених руд з попереднім знешламленням подрібненого матеріалу. За результатами досліджень знешламлення подрібненої руди перед збагаченням підвищує якість магнітного продукту та знижує втрати загального заліза в немагнітному продукті. Наслідком процесу знешламлення подрібненої руди є підвищення магнітної сприйнятливості для рудних зерен і зниження її для нерудних зерен. Дані дослідження дозволили визначити процес зниження контрастності рудних і нерудних мінеральних зерен в процесі подрібнення окислених залізистих кварцитів за рахунок покриття поверхневого шару дисперсними частками відповідно нерудних і рудних мінералів.

Ключові слова: окислені залізисті кварцити, подрібнення, знешламлення, магнітна сепарація, концентрат.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-103-107

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Україна має запаси залізних руд, які у процентному співвідношенні складають приблизно 13% від світових. Руди представлені переважно залізистими кварцитами, які містять 28-36% загального заліза. Запаси окислених залізистих кварцитів у Кривбасі складають 15-20% загальних запасів залізистих кварцитів [1].

Вирішенню проблеми збагачення окислених залізистих кварцитів у вітчизняній та закордонній практиках переробки залізорудної сировини приділяється значна увага у зв'язку з великою їх розповсюдженістю та одночасним видобутком при переробці багатих гематитомартитових руд і магнетитових кварцитів [2].

Раціональне використання мінерально-сировинного потенціалу надр Кривбасу визначається тією обставиною, що окислені залізисті кварцити які попутно видобуваються з магнетитовими в даний час створюють складну екологічну обстановку для навколишнього середовища.

Необхідність якнайшвидшого вирішення цієї проблеми визначається тим, що окислені залізисті кварцити, які містять гематит, мартит, гетит, гідрогетит і частково магнетит, є одним з основних джерел подальшого розширення сировинної бази чорної металургії України. Сьогодні більше половини потреби чорної металургії країни в залізорудній сировині покривається за рахунок концентратів, одержуваних з бідних магнетитових кварцитів, технологія переробки яких проста і добре освоєна.

Подальше розширення сировинної бази залізорудної сировини значною мірою здійснюватиметься за рахунок залучення в експлуатацію (видобутку і збагачення) окислених залізистих кварцитів як поточної видобутку так і техногенних родовищ.

Кількісне співвідношення головних рудних мінералів у рудах становить: гематит, мартит 20-65%, магнетит 1-12%, гетит 3-20%. Вкрапленість рудних зерен становить від 0,001 до 0,1

мм. Промислове використання, на сьогоднішній день, цих руд як сировинної бази для переробки відсутнє.

Аналіз досліджень і публікацій. В результаті такої експлуатації родовищ не раціонально використовуються багатства надр Кривбасу, непродуктивно засмічуються великі площі родючих земель, зайнятих під відвали (до 20 тис. га), забруднюється навколишнє середовище через розпилення руди. Крім того, щоб забрати руду зі складу для її подальшого збагачення потрібні нові витрати на її вантаження, транспортування до фабрики і усереднення. Тому найбільш економічною є схема, що передбачає збагачення окислених кварцитів які видобуваються паралельно з магнетитовими.

Крім того з заглибленням діючих кар'єрів і шахт відбувається подорожчання видобутку магнетитових кварцитів і багатих руд. У зв'язку з цим виникла необхідність широкого залучення в переробку окислених кварцитів.

За останні роки накопичено значний науково-технічний потенціал стосовно технологій переробки залізорудної сировини різного мінерального складу. У теперішній час залізорудна сировина з масовою часткою заліза магнітного менше ніж 15% практично не залучається у переробку, а складається у відвали [3].

В Криворізькому басейні 12% від загальних запасів руд складають саме окислені залістисті кварцити, а їх попутний видобуток досягає 15-30% від обсягу видобутку сирової руди. Станом на початок 2013 р. розвідані запаси магнетитових кварцитів п'ятьох гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу склали близько 5 млрд. т, запаси багатих залізних руд семи працюючих шахт басейну – близько 1 млрд. т, а прогнозні ресурси окислених кварцитів до глибини 1 км в межах гірничих відводів діючих гірничодобувних підприємств оцінюються в 50 млрд. т [4].

Руди різних типів відрізняються текстурно-структурними особливостями та мінеральним складом, що зумовлює необхідність використання різних методів і технологій їх збагачення. У зв'язку з цим, глибина збагачення та технологічні показники при переробці руди визначаються її речовинним складом, характером вкрапленості компонентів та ефективністю застосовуваних методів їх збагачення [5].

В зарубіжній практиці підготовка до збагачення бідних окислених і змішаних залізних руд (тонко-, середньо- і грубозернистих), а також багатих «землистих» руд застосовують переважно самоподрібнення (мокре і сухе), причому млини працюють у замкнутому циклі з вібраційними грохотами. В результаті збагачення вихідних бідних окислених і змішаних руд отримують гематитові концентрати з масовою часткою заліза 65-66% та 5-6% кремнезему. У ряді випадків досягається досить високе вилучення заліза в концентрат (76-86%) [6].

В якості основного технологічного обладнання, передбаченого при збагачення окислених залістистих кварцитів Кривбасу, прийнятий сепаратор 6ЭРМ 35/315. Промислова перевірка сепаратора проведена на ЦГЗК, де кілька років експлуатувався даний сепаратор [7,8].

За результатами випробувань вилучення гематиту в концентрат становить в межах 75%, а гідроксидів заліза – 44%, ефективність збагачення класу мінус 0,01 мм на сепараторі 6ЭРМ 35-315 не перевищує 5% [9].

Постановка задачі. Проектною схемою переробки окислених залізних руд на КГЗКОРі передбачено отримання магнітного концентрату з масовою часткою заліза 61% при вилученні 70% [10]. Така якість залізорудного концентрату не задовольняє вимогам сучасного металургійного виробництва. Все це зумовлює доцільність розробки нової, більш ефективної технології та техніки переробки окислених залізних руд на сепараторах вітчизняної конструкції.

Також був випробуваний процес мокрої магнітної сепарації в сильному полі для тонковкравлених таконітів штатів Міннесота і Мічиган (США), дуже близьких за складом окисленим кварцитах Кривбасу. Ці руди потребують для розкриття рудних мінералів дуже тонкого подрібнення, а як правило, містять землистий гематит і гетит. При їх подрібненні, зазвичай, утворюється велика кількість шламів, що погіршують показники збагачення. Гематит в рудах часто містить на поверхні сліди магнетиту, але гетит (більш слабomagнітний матеріал, ніж гематит), як правило, вільний від феромагнітних мінералів. Тому селективність процесу магнітної сепарації порушується, що знижує якість концентрату та вилучення заліза в концентрат. Це положення підтверджується проектною технологічною схемою КГЗКОРу.

Викладення матеріалу і результати. На підставі вище викладеного, виконано дослідження з магнітного збагачення окислених залістистих кварцитів Кривбасу з попереднім знешлам-

ленням подрібненого матеріалу та отриманням концентрату, що відповідає вимогам європейської якості.

Дослідження магнітного збагачення в сильному полі окислених залізистих кварцитів Кривбасу показали перспективність цієї технології.

Але в той же час при детальному вивченні магнітних властивостей подрібнених рудних мінеральних зерен встановлено їх мінливість за рахунок закріплення на поверхнях зерен марти-ту, гематиту дисперсних частинок пороудоутворюючих мінералів. Крупність поверхневого шару на рудних і нерудних зернах становить до 1 мкм (рис. 1-4).

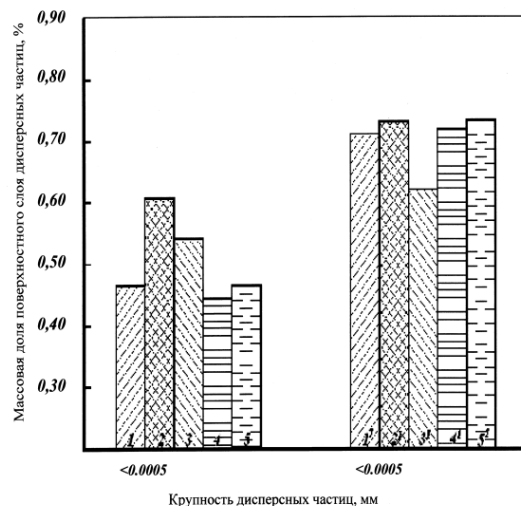


Рис. 1. Гістограми закріплення дисперсних частинок на нерудних зернах вихідної руди (1,2,3,4,5) і продуктах магнітного збагачення (1¹,2¹,3¹,4¹,5¹) при крупності подрібнення 70% класу-0,074 мм 1,1¹ - 4 з.г.; 2,2¹ - 5 з.г.; 3,3¹ - 6 з.г. Скелеватського родовища; 4,4¹ - 4 з.г.; 5,5¹ - 6 з.г. Валявкінського родовища

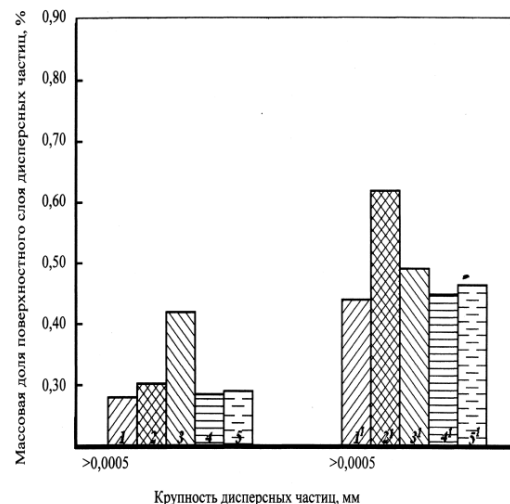


Рис. 2. Гістограми закріплення дисперсних частинок на нерудних зернах вихідної руди (1,2,3,4,5) і продуктах магнітного збагачення (1¹,2¹,3¹,4¹,5¹) при крупності подрібнення 70% класу-0,074 мм різних мінеральних різновидів Кривбасу 1,1¹ - 4 з.г.; 2,2¹ - 5 з.г.; 3,3¹ - 6 з.г. Скелеватського родовища; 4,4¹ - 4 з.г.; 5,5¹ - 6 з.г. Валявкінського родовища

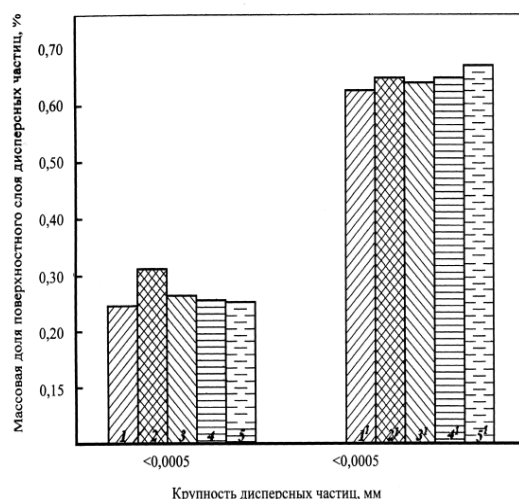


Рис. 3. Гістограми закріплення дисперсних частинок на нерудних зернах вихідної руди (1,2,3,4,5) і продуктах магнітного збагачення (1¹,2¹,3¹,4¹,5¹) при крупності подрібнення руди 70% класу -0,074 мм, 1,1¹ - 4 з.г.; 2,2¹ - 5 з.г.; 3,3¹ - 6 з.г. Скелеватського родовища; 4,4¹ - 4 з.г.; 5,5¹ - 6 з.г. Валявкінського родовища

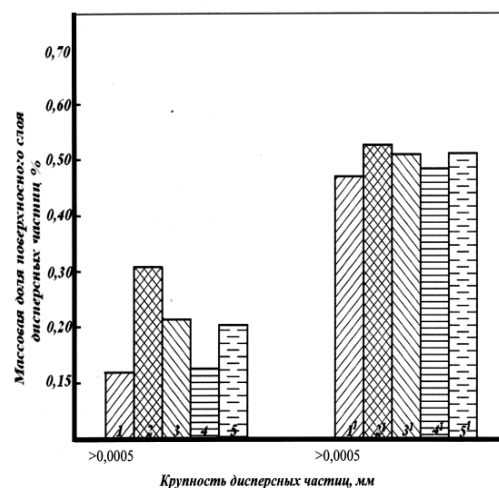


Рис. 4. Гістограми закріплення дисперсних частинок на нерудних зернах вихідної руди (1,2,3,4,5) і продуктах магнітного збагачення (1¹,2¹,3¹,4¹,5¹) при крупності подрібнення руди 70% класу -0,074 мм, 1,1¹ - 4 з.г.; 2,2¹ - 5 з.г.; 3,3¹ - 6 з.г. Скелеватського родовища; 4,4¹ - 4 з.г.; 5,5¹ - 6 з.г. Валявкінського родовища

Знешламлення подрібненої руди перед збагаченням, як показали технологічні дослідження, значно (до 5-8%) підвищує якість магнітного продукту і знижує втрати загального заліза в немагнітному продукті. Наслідком процесу знешламлення подрібненої руди стало підвищення магнітної сприйнятливості для рудних зерен і зниження її для нерудних зерен.

Як показали дослідження, при одній крупності подрібнення та ступені розкриття рудних і нерудних зерен показники магнітного розділення значно вище. Найбільший ефект операції дешламачії подрібненої руди спостерігається при тонкому подрібненні.

Застосування рекомендованого способу дозволяє зменшити засміченість продуктів збагачення і підвищити ефективність всього комплексу збагачувального переділу з 44,8 до 47,9% (табл. 1).

Таблиця 1

Варіант збагачення	Масова частка заліза у вихідній руді %	Показники збагачення, %						Ефективність збагачення, %
		концентрат			хвости			
		вихід	масова частка заліза	вилучення	вихід	масова частка заліза	вилучення	
Без знешламлення	36,0	41,3	61,0	70,0	58,7	18,4	30,0	44,8
Зі знешламленням	36,0	39,2	64,1	70,0	60,7	17,8	30,0	47,9

За результатами досліджень збагачення окислених залізистих кварцитів Кривбасу рекомендована технологічна схема магнітної сепарації з попередніми знешламленням (рис.5).

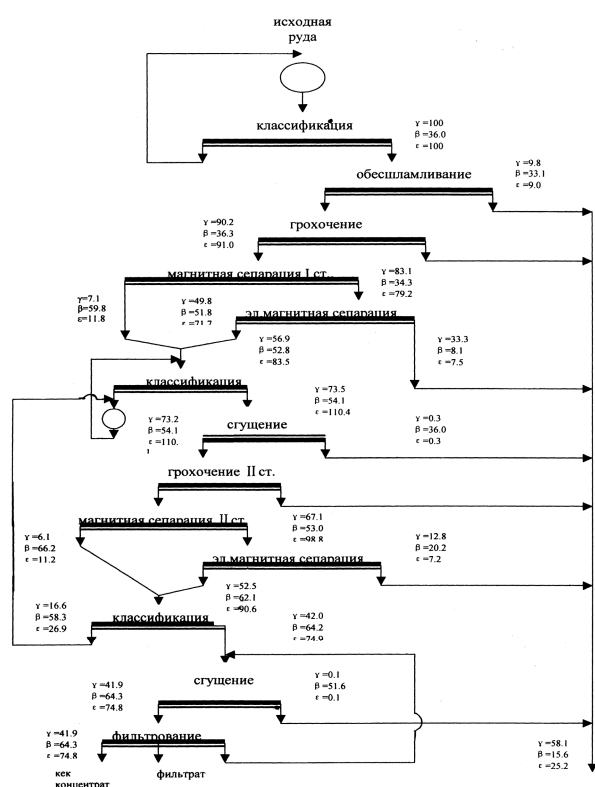


Рис. 5. Рекомендована схема переробки окислених залізистих кварцитів Кривбасу

Дана технологічна схема забезпечить отримання залізорудного концентрату з масовою часткою заліза понад 64%.

Рекомендована схема забезпечить вирішення питання збуту залізорудного концентрату і окатишів на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Виконані дослідження дозволили визначити процес зниження контрастності рудних і нерудних мінеральних зерен в процесі подрібнення окислених залізистих кварцитів за рахунок покриття поверхневого шару дисперсними частками відповідно нерудних і рудних мінералів. Отримані результати дозволили розробити нові технічні рішення переробки залізорудної сировини з одержанням концентрату з масовою часткою заліза понад 64% привисокій ефективності збагачувального переділу.

Список літератури

1. Булах О.В. Використання бішофіту при подрібненні окислених залізистих кварцитів Скелеватського та Ваявкінського родовищ для зниження шламоутворення / О.В. Булах, О.О. Булах // Збагачення корисних копалин. – Вип. № 57(98) – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – С. 80 – 82.
2. Гірничий енциклопедичний словник / Під ред. В.С. Білецького. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2004. – Т. 3. – 752 с.
3. Булах А.В. Возможный способ эффективного обогащения смешанных руд / А.В. Булах, О.А. Булах, М.В. Швец // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2013. – Вип. 54(95). – С. 15 – 21.
4. Олейник Т.А. Современные тенденции развития технологий обогащения гематитовых руд в Украине / Т.А. Олейник // Збагачення корисних копалин. Науково – технічний збірник №56(97). – Дніпропетровськ: НГУ. – 2014. – С. 18–27.

5. Авдохин В.М. Современное состояние и основные направления развития процессов глубокого обогащения железных руд / В.М.Авдохин, С.Л.Губин // Горный журнал. – 2007. - № 2. – С. 58 – 64.
6. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд / М.: Недра, 1977. – 274 с.
7. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. М.: Недра, 1969. – 210 с.
8. Кармазин В.И., Мостепан Л.Ф., Левченко К.А. О повышении эффективности высокоградиентного обогащения илистых фракций окисленных железистых кварцитов ЦГОКа при использовании сетчатой матрицы с вертикальным намагничиванием // Современное состояние и перспективы развития техники и технологии магнитного обогащения руд и материалов – Кривой Рог, 1994. – С. 29-30.
9. Гвоздик В.С. Экспериментальное наблюдение при механическом воздействии на гематит и кварц / В.С. Гвоздик // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 2002. – С. 86-89.
10. Малый В.М. Разработка технологии обогащения окисленных железных руд / В.М. Малый, Т.Б. Ганзенко, Е.А. Титлянов // Обогащение слабомагнитных руд черных металлов. – М.: Недра, 1984. – С. 12-16.

Рукопис подано до редакції 04.04.2019

УДК 622.341.1:620.17

С.Г. САВЕЛЬЕВ, д-р техн. наук, доц., М.Н. КОНДРАТЕНКО, ассистент
Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ АГЛОМЕРАТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕГО ПРОЧНОСТИ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ БАРАБАНЕ

Показано большое значение механической прочности агломерата для улучшения технико-экономических показателей доменной плавки. Наиболее распространенными показателями механической прочности является результаты барабанного испытания агломерата, которые в значительной степени обусловлены характером движения материала в ходе испытания. Понимание характера движения отдельных частиц агломерата в ходе барабанного испытания позволяет подойти к прогнозной оценке ударных и истирающих усилий, оказываемых на пробу.

Целью работы является анализ характера движения частиц пробы агломерата в процессе ее обработки во вращающемся барабане по стандартной методике.

Методы научного исследования. В работе использованы общелогические методы научного исследования – анализ и синтез, аналогия, обобщение.

Научная новизна работы состоит в развитии на основе теоретических расчетов и анализа полученных результатов представлений о характере движения частиц пробы агломерата в процессе ее обработки во вращающемся барабане по стандартной методике. Показано, что характерные особенности барабанного испытания – низкая степень заполнения барабана (на уровне 1,9÷2,2 %), неоднородность гранулометрического состава пробы и его изменчивость в процессе испытания, наличие на внутренней поверхности барабана двух симметрично расположенных полочек, высота которых больше максимального размера куска агломерата – обуславливают неодинаковый характер движения отдельных частей.

Практическая значимость работы заключается в получении исходных данных для дальнейшего исследования процесса обработки материала во вращающемся барабане с целью количественного определения частей пробы, отличающихся характером движения, а также оценки ударных и истирающих нагрузок, испытываемых различными частями пробы в ходе барабанного испытания по стандартной методике.

Результаты работы свидетельствуют о том, что те части пробы, которые не удерживаются полочками, движутся в режиме переката или каскадном. А те части пробы, которые удерживаются полочками, в зависимости от крупности, будут либо центрифугировать, либо падать вертикально вниз, достигнув верхней точки окружности барабана.

Ключевые слова: агломерат, проба, барабанное испытание, частица, характер движения.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-107-113

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Офлюсованный железорудный агломерат в настоящее время является основным сырьем доменных печей. Так, в условиях Украины его доля в рудной части доменной шихты составляет около 70 %. Важнейшей характеристикой качества агломерата является его холодная прочность [1, 2]. При этом считается [3, с. 183, 184], что повышение холодной прочности агломерата представляет собой значительный резерв повышения технико-экономических показателей работы доменных печей.

Наиболее распространенным методом определения холодной прочности окускованного железорудного сырья является испытание во вращающемся барабане. Для оценки прочности в середине 80-х годов прошлого века было известно девять методик [4, с. 100], отличающихся