

УДК 622.73:621.926.1-974  
PACS number(s): 61.43.Er.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ПРОЦЕС ПОДРІБНЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД

Г. Брехаря<sup>1</sup>, Н. Козіна<sup>1</sup>, Н. Бондар<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дніпропетровська обл., м. Дніпродзержинськ  
51918, вул. Дніпробудівська, 2а

<sup>2</sup>Запорізький національний університет  
вул. Жуковського, 66, 69600 Запоріжжя  
e-mail: [brekharya@ukr.net](mailto:brekharya@ukr.net)

Стаття вміщує результати дослідження впливу низьких температур на процес подрібнення гематитової залізної руди. За допомогою металографічного та рентгенофазового аналізу визначали мікроструктуру та фазовий склад досліджуваного матеріалу. Головними складовими руди є оксид кремнію  $\text{SiO}_2$  та гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Результати дослідження порошків, отриманих за кімнатної температури та температури рідкого азоту, засвідчили, що подрібнення руди при температурі рідкого азоту спричинює збільшення дисперсності порошку за рахунок кращого відокремлення основних компонентів гематитової залізної руди  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  одна від одної. Розділення  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  було проведено методом центрифугування порошків.

*Ключові слова:* залізна руда, гематит, оксид кремнію.

Головною сировиною чорної металургії є залізні руди. Сплави на основі заліза – це головні конструкційні матеріали, які застосовуються практично в усіх галузях промисловості. З метою виплавки залізвуглецевих сплавів, таких як чавуни і сталі, важливим є етап збагачення залізних руд та отримання рудного концентрату. Наявні методи збагачення, які використовують в металургійному виробництві, все ще потребують удосконалення технологічних процесів. Поштовхом до вирішення цієї проблеми є той факт, що кількість сировини, необхідної для чорної металургії, стрімко зменшується, а потреба у використанні природних багатств дедалі більша. В роботах [1–5] наведені теоретичні та практичні аспекти вирішення цієї проблеми, але недостатньо вивчено залишається технологія збагачення руд з використанням їх фізико-хімічних властивостей в умовах низьких температур, розробка якої дасть змогу вирішити проблему підготовки первинних руд до виплавки високоякісної сталі без етапу доменної плавки чавуну.

Як об'єкт досліджень обрали гематитову Криворізьку залізну руду.

Подрібнення руди проводили за таких температур: при кімнатній температурі ( $T=20^\circ\text{C}$ ) та температурі рідкого азоту ( $T=-196^\circ\text{C}$ ) протягом  $\tau_{\text{подр}}=20$  хв. Для визначення розмірів частинок отриманого порошку були проведені вимірювання на мікроскопі

МБС-2. При вимірюванні розмірів частинок порошку застосовували метод січних. Вивчали мікроструктуру металографічним методом на мікроскопі НЕОРНОТ 32.

З метою визначення фазового складу гематитових залізних руд були проведені рентгенофазові дослідження на дифрактометрі ДРОН-3М у фільтрованому  $\text{Cu-K}\alpha$  випромінюванні.

З метою розділення залізвмісної компоненти руди від порожньої породи було проведено центрифугування, подрібненого за температури рідкого азоту порошку на ультрацентрифузі.

Через макроструктурні дослідження визначено, що гематитова залізна руда, обрана для досліджень, має тонкошарову текстуру (висота кожного шару становить 0,1–2 см), що свідчить про еволюцію утворення цієї породи. Згідно з результатами проведених металографічних досліджень зразок має структуру, яка складається з нерівномірно розподілених зерен трьох типів (рис. 1): світла складова структури відповідає оксиду кремнію  $\text{SiO}_2$ , сіра складова – гематиту  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , темна – оксиду алюмінія  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

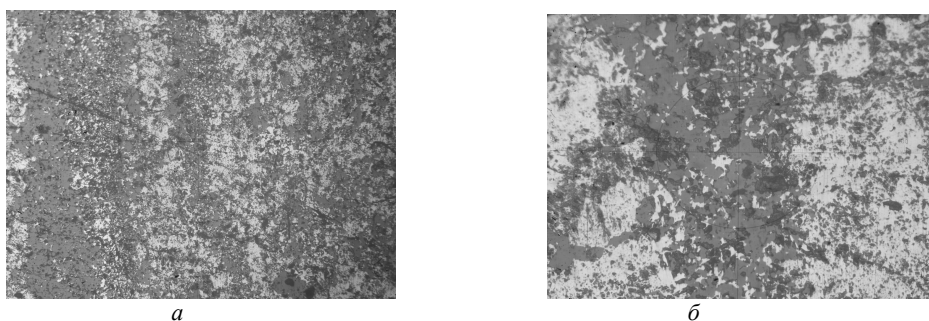


Рис. 1. Мікроструктура гематитової залізної руди: *a* –  $\times 50$ ; *б* –  $\times 250$

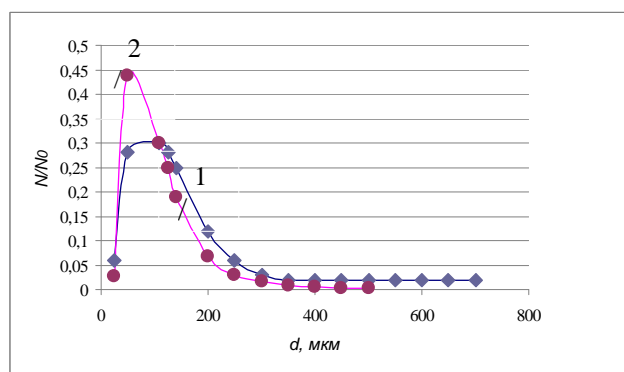


Рис. 2. Розподіл відносної кількості частинок порошку, отриманого після подрібнення гематитової залізної руди за кімнатної температури (крива 1) та температури рідкого азоту (крива 2) за їх розмірами

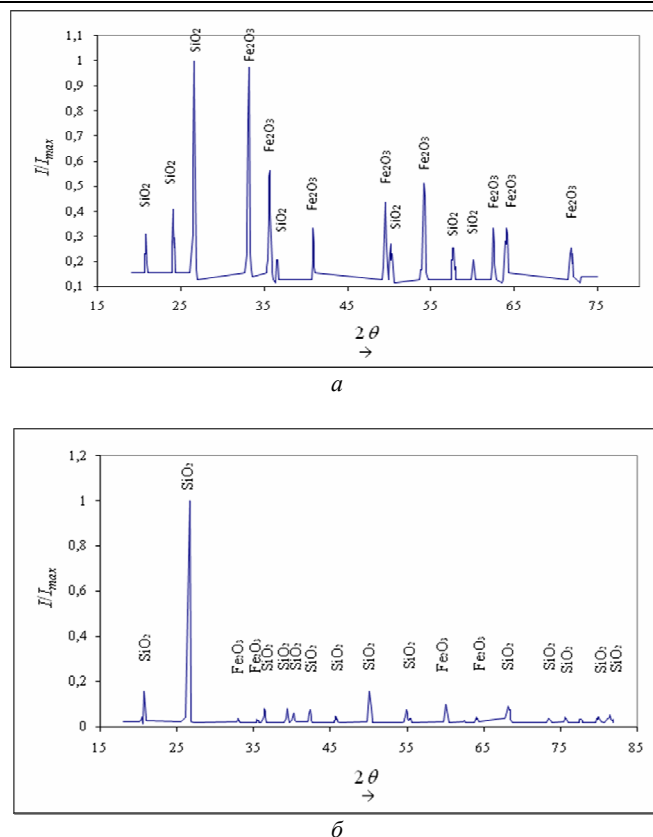


Рис. 3. Результати рентгенофазових досліджень порошків, отриманих при кімнатній температурі (а) і температурі рідкого азоту (б)

Як видно з рис. 1, зерна світлої складової, збагаченої оксидом кремнію  $SiO_2$  та сірої складової, яка відповідає гематиту  $Fe_2O_3$ , не мають чітких меж, що не дає змоги достовірно оцінити їх розмір. Розмір включень чорного кольору не перевищує 0,07 мм.

З метою вирішення поставлених у роботі завдань було подрібнено гематитову залізну руду за кімнатної температури та температури рідкого азоту. На рис. 2 приведені криві розподілу за розмірами частинок порошку. З'ясовано, що після подрібнення руди при температурі рідкого азоту спостерігається зміна в розподілі відносної кількості частинок порошку за їх розмірами порівняно з відповідним розподілом для порошку, отриманого внаслідок подрібнення за кімнатної температури. Зазначимо, що після подрібнення за кімнатної температури найбільша кількість частинок (3/10 від загальної кількості) має розмір 100 мкм, а внаслідок подрібнення за температури рідкого азоту майже половина від загальної кількості частинок мають розмір 50 мкм. Тобто, кількість частинок в одиниці об'єму значно зросла після подрібнення за температури рідкого азоту.

Проведені рентгенофазові дослідження засвідчили, що головними складовими руди є оксид кремнію  $SiO_2$ , який має гексагональну кристалічну ґратку, і гематит  $Fe_2O_3$  з

тригональною кристалічною ґраткою [6]. Також на дифрактограмах виявлені лінії, які відповідають оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ , дуже слабкої інтенсивності. Зміна температури середовища за подрібненні руди не призвела до зміни структурно-фазового складу порошку, але простежується суттєвий перерозподіл інтенсивностей основних фаз на дифрактограмах (рис. 3). З'ясовано, що подрібнення за низьких температур призвело до збільшення інтенсивності ліній, які відповідають фазі  $SiO_2$ , а інтенсивність ліній фази  $Fe_2O_3$  навпаки значно зменшилась. Отриманий результат можна пояснити тим, що внаслідок різних фізико-хімічних властивостей складових руди у разі зниження температури зростає крихкість речовини, що покращує процес відокремлення складових одну від одної. Отож, можна припустити, що кількість відокремлених частинок  $SiO_2$  після подрібнення за температури рідкого азоту зросла порівняно з кількістю частинок  $Fe_2O_3$  відносно загальної кількості частинок, що збільшує імовірність потрапляння частинок  $SiO_2$  у відбиваюче положення.

Для розділення гематиту  $Fe_2O_3$  від оксиду кремнію  $SiO_2$  проведено центрифугування порошку, отриманого внаслідок подрібнення руди за температури рідкого азоту. Було з'ясовано, що частинки гематиту, які мають густину  $\rho=3,4$  г/л, сконцентровані біля периферії ємності, тоді як частинки оксиду кремнію  $SiO_2$  ( $\rho=2,65$  г/л) знаходяться ближче до центру обертання центрифуги [6].

Результати проведених досліджень засвідчили, що подрібнення в умовах низьких температур призводить до збільшення дисперсності порошку та сприяє кращому відокремленню рудних і нерудних компонентів руди. Відділення цінного компонента від порожньої породи при центрифугуванні порошку, отриманого внаслідок подрібнення руди за температури рідкого азоту, пов'язане з відмінністю густин цих компонентів.

1. *Измалков В. А.* Разработка экспериментальных магнитных сепараторов повышенной селективности / В. А. Измалков // Магнитное общество. – 2007. – Т. 8, № 2. – С. 8–9.
2. *Светкина Е. Ю.* Активация железной руды при вибронгружении / Е. Ю. Светкина // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2003. – № 6. – С. 80–83.
3. *Николаенко Е. М.* Хвосты переработки руд шахтной добычи – потенциальное железорудное сырьё / Е. М. Николаенко, Б. И. Римарчук, Ф. Л. Павленок // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2005. – № 2. – С. 74–76.
4. *Бызов В. Ф.* Перспективные направления повышения качества шахтных руд Кривбасса / В. Ф. Бызов, Ю. П. Капленко, В. А. Колосов [и др.] // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2001. – № 1. – С. 85–87.
5. *Надутый В.П.* Технология обогащения смешанных железных руд на основе применения гравитационно – магнитных аппаратов низкой напряжённости / В. П. Надутый, В. В. Чельшкіна, О. А. Усов [и др.] // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. – 2002. – № 2. – С. 68–70.
6. *Гороновский И. Т.* Краткий справочник по химии / И. Т. Гороновский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч. – К. : Наукова думка, 1974. – 991 с.

**THE RESEARCH OF IMPACT OF LOW TEMPERATURE  
ON A PROCESS OF THE IRON ORE CRUSH****G. Brekharya<sup>1</sup>, N. Kozina<sup>1</sup>, N. Bondar<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Dneprodzerzhinsk State Technical University  
Dneprostroeskaya Str., 2, 51918 Dneprodzerzhinsk, Ukraine*<sup>2</sup>*Zaporozhje National University  
Jukovskogo Str., 6b, UA-69600 Zaporozhje, Ukraine  
e-mail: [brekharya@ukr.net](mailto:brekharya@ukr.net)*

The present paper contains the research of impact of low temperatures on a process of the hematite iron ore crush. The microstructure and phase composition of explored material were determined by metallographic and roentgenophase analysis. The main components of the ore are an oxide silicon and a hematite. The result of the research of the powders which had been got in room temperature and liquid nitrogen temperature showed us that the iron ore crush in liquid nitrogen temperature leads to increase of powder dispersion at the expense of a better separation of the main components of the hematite iron ore  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  from each other. The  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  separation was conducted by using method of powder centrifugation.

*Key words:* iron ore, hematite, oxide silicon.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ПРОЦЕСС  
ДРОБЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД****Г. Брехаря<sup>1</sup>, Н. Козина<sup>1</sup>, Н. Бондарь<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Днепропетровская обл., г. Днепродзержинск,  
51918, ул. Днепростроевская, 2а,*<sup>2</sup>*Запорожский национальный университет  
ул. Жуковского, 6б, 69600 Запорожье  
e-mail: [brekharya@ukr.net](mailto:brekharya@ukr.net)*

В работе приведены результаты исследования влияния низких температур на процесс дробления гематитовой железной руды. Микроструктура и фазовый состав исследуемого материала определялись металлографическим и рентгено фазовым анализом. Главные составляющие руды – оксид кремния  $\text{SiO}_2$  и гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Результаты исследования порошков, полученных при комнатной температуре и температуре жидкого азота, показали, что дробление руды при температуре жидкого азота приводит к увеличению дисперсности порошка за счёт лучшего отделения главных компонентов гематитовой железной руды  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  друг от друга. Разделение  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  было проведено методом центрифугирования порошков.

*Ключевые слова:* железная руда, гематит, оксид кремния.

Стаття надійшла до редколегії 29.05.2009  
Прийнята до друку 07.06.2010