



УДК 622.341.2

IMPROVEMENT OF CARBONATE MANGANESE CONCENTRATES**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КАРБОНАТНИХ МАРГАНЦЕВИХ КОНЦЕНТРАТІВ****Kuris Yu.V. / Куріс Ю.В.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0001-7169-9187

Baranec M.V. / Баранець М.В.*s.t.s., as.prof. / здобувач вищої освіти, магістр.**Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Sobornyi Ave, 226, 65029**Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, пр. Соборний 226, 69600*

Анотація. В роботі розглядаються особливості підвищення якості марганцевих концентратів. Досліджувалися проби карбонатних руд різних родовищ. Замість традиційного методу промивання, дроблення і відсадки великих фракцій і флотації шламів руди було застосовано само подрібнення руди в млині «Каскад» і високоградієнтне збагачення шламів. В результаті проведених експериментів була розроблена магнітно-гравітаційно-флотаційна схема отримання малокремнеземного карбонатного концентрату. Розроблена схема отримання малокремнеземного карбонатного концентрату перевірена в промислових і напівпромислових умовах.

Ключові слова: концентрат, руда, флотація перетворення, карбонат.

Вступ.

В останні роки марганцеворудна промисловість, маючи значні резерви, забезпечувала за об'ємом потреби металургійної промисловості. Проте при цьому мав місце обмежений збут низькосортних концентратів, в недостатньому об'ємі випускалися вищі сорти з низьким вмістом фосфору. При наміченому обсязі виробництва марганцевої руди питома вага видобутку карбонатних руд в повоєнні роки повинна зрости до 40% проти 11% на початку 90-х років минулого століття. У зв'язку із залученням в експлуатацію карбонатних руд знижується середня якість концентратів (за вмістом марганцю) і доля концентратів вищих сортів.

Основний зміст.

В роботі досліджувалися проби карбонатних руд різних родовищ. Замість традиційного методу промивання, дроблення і відсадки великих фракцій і флотації шламів руди було застосовано самоподрібнення руди в млині «Каскад» і високоградієнтне збагачення шламів. Результати випробувань показують, що ця сировина ефективно самоподрібнюється і при цьому очищується.



Великі класи (більше 1 мм) являються кондиційними концентратами ($\gamma = 37,95\%$, $M = 31,9\%$, $\varepsilon = 69,2\%$). Питомі втрати витягання марганцю при цьому менше, ніж при промиванні, і складають 1,87 проти 2,9% в промивальних машинах. Відносний вміст фосфору в концентраті складає 0,0045, в шламах - 0,0195. Гранулометрична характеристика шламів при новому способі підготовки рядових карбонатних руд значно відрізняється від гранулометричної характеристики шламів, що утворюються в схемах, раніше розроблених проектними організаціями. Вихід і втрати марганцю в шламах великістю менше 10 мкм в першому випадку складають 12,97 і 3,68%, в другому відповідно до 26 і 19,1%.

Дрібні класи дезінтегрованої руди (менше 1 мм) після гідравлічної класифікації в гідроциклонах великого діаметру (1000 мм) рекомендується сепарувати окремо: а) грубозернисті шлами (клас 0,18-1,0 мм) - на сепараторах 4ВК- 500 для отримання кондиційного карбонатного концентрату і відвальних хвостів; б) тонкозернисті шлами (клас 0,18-0 мм) - на високоградієнтних сепараторах для отримання кондиційного карбонатного концентрату, відвальних хвостів і промпродуктів (сировини для хімічного збагачення). Оскільки дрібний концентрат містить підвищену кількість кремнезему і фосфору, то додатково було випробувано високоградієнтне до збагачення його після додроблення до 3; 1; 0,5 і 0,25 мкм

З приведених даних виходить, що застосування рудного самоподрібнення для дезінтеграції рядових карбонатних і змішаних марганцевих руд виключає з раніше розроблених технологічних схем малопродуктивні і малоефективні операції підготовчого дроблення, грохочення і промивання, скорочує багатоопераційність технологічних схем, значно спрощує ланцюг апаратів. На підставі результатів поопераційного випробування встановлена можливість отримання кондиційних марганцевих концентратів при витяганні більше 82% без застосування дорогих і екологічно небезпечних процесів флотації і хімічного збагачення. У протилежність цьому традиційна технологія дає результати, що поступаються як за якістю концентрату, так і по вилученню. Вміст марганцю в



концентраті в цьому випадку знизився з 29,4 до 27,2% і витягання - з 82,38 до 67,9%, відповідно до цього підвищилися втрати в хвостах і шламах [1-3].

Іншою перевагою схеми із застосуванням самоподрібнення, магнітної і високоградієнтної сепарації карбонатних руд являється можливість ефективнішого видалення включень кремнезему і апатиту. Ці шкідливі домішки викликають підвищенні витрати в металургійному процесі для їх видалення. У карбонатних флотоконцентратах вміст фосфору і кремнезему значно вищий, ніж у високоградієнтному концентраті.

Спроба поліпшити якість концентратів флотацій шляхом перечищення їх на високоградієнтному магнітному сепараторові виявилася успішною. Вміст кремнезему після перечищення знизився з 30 до 9%, а фосфору - з 0,308 до 0,165% . Таким чином, з нової сировини вдалося отримати високосортний концентрат, придатний для виплавки силікомарганцю без додаткової дефосфорації металургійним або хімічним способом.

Для того, щоб компенсувати втрати марганцю при до збагаченні I сорту, отримувані проміжні продукти з підвищеним вмістом кремнезему вигідно використовувати в шихті для виплавки силікомарганцю після їх брикетування з вугіллям. Таким чином, станеться доцільний перерозподіл кремнезему з шихти для феромарганцю, де він шкідливий, в шихту для силікомарганцю, де він потрібний.

Нині обидва сплави виготовляються з концентратів I сорту і тому при виплавці в шихту доводиться спеціально додавати кусковатий кварцит. Невідповідність існуючої технології очевидна: при збагаченні робиться витрата на видалення кремнезему, а потім він додається у вигляді кварциту, здобич якого обходиться досить дорого.

На підставі зарубіжного досвіду комплексна схема отримання кондиційних по фосфору марганцевих концентратів повинна включати:

- а) селективну виїмку, складування і усереднення однакових по формах прояву фосфору руд;
- б) розділове збагачення різних за формою прояву фосфору руд.



Встановлено, що при суміщеному збагаченні руд, форми прояву фосфору в яких різні, виключає отримання малофосфористих концентратів, і тому нижні рудні пласти, що зазвичай дають малофосфористі концентрати, не можна змішувати з верхніми пластами, в яких фосфор пов'язаний з марганцевими мінералами. Завдяки вдосконаленню методів відкритого видобутку селективна виїмка різних типів руд цілком можлива.

Заслугує на увагу також виділення в процесі збагачення різних за вмістом фосфору концентратів і шихтовка їх перед відвантаженням споживачеві з метою досягнення необхідного питомого вмісту фосфору, а також цикл відновного випалення з наступною магнітною сепарацією обпаленого продукту (фабрика грудкування в Сантана, Бразилія). Цей вузол в технологічному ланцюзі призначений, ймовірно, не лише для видалення залізовмісних мінералів, але і для дефосфорації концентратів гвинтових сепараторів перед грудкуванням [4].

Слід приділити належну увагу процесу Емдефос, який застосовується в Австралії для дефосфорації високофосфористого залізняку і рекомендованому для дефосфорації марганцевих руд. Відповідно до цього процесу передбачається вилуговування концентрату доцільно робити після його об-жигу, в процесі якого внаслідок перекристалізації мінералів марганцю звільняється фосфор. Вилуговування робиться розчином їдкого натру. Лужне вилуговування фосфору давно розроблене вітчизняними дослідниками, але до теперішнього часу не знайшло застосування в промисловості [5, 6].

Для дефосфорації карбонатних концентратів розроблено кислотний спосіб вилуговування після окислювального випалення, яке доки також не знайшло промислового застосування. Широко використовується доки тільки метод металургійної дефосфорації шляхом розплавлення марганцевих концентратів і отримання малофосфористого шлаку. Проте усі ці методи значно дорожче за дефосфорацію при механічному збагаченні. З цієї причини, якщо вдається понизити вміст фосфору при високоградієнтній сепарації руди навіть на незначну величину, то і в цьому випадку економія може бути суттєвою.



У зв'язку з викладеним необхідно передбачити спорудження усередненого складу і ланцюжки апаратів, що дозволяють виготовляти і обпалювати вугільно-марганцеві брикети для того, щоб додатково видалити з концентратів частину фосфору (близько 20% від початкового значення) і завдяки цьому скоротити витрату реагентів і електроенергії на дефосфорацію.

Крім того, необхідно почати застосування збагачення змішаних руд шляхом фотометричного сортування і витягання окисних мінералів з митої карбонатної руди. У таблиці 1 приведені дані таких дослідів.

Таблиця 1 - Дані дослідження технологічних показників збагачення митої руди

Руда	Клас, мм	Вихід, %			Вміст, %			Вилучення Mn, %		
		Від операції	Від продукту	Від вихідної фракції	Mn	SiO ₂	CaO	Від операції	Від продукту	Від вихідної фракції
Карбонатна	-100+50	77,5	44,1	10,9	28,6	7,7	12,1	63,8	35,3	12,8
Окисна		22,5	12,8	3,2	56,0	4,2	-	36,2	20,0	7,3
Вихідна		100	56,9	14,1	34,8	6,9	-	100	55,3	20,1
Карбонатна	-50+35	66,7	15,1	3,7	29,2	7,5	11,9	50,9	12,4	4,5
Окисна		33,3	7,6	1,9	56,5	4,4	-	49,1	11,9	4,3
Вихідна		100	22,7	5,6	38,3	6,5	-	100	24,3	8,8
Карбонатна	-35+25	66,7	13,6	3,4	30,2	7,3	9,5	56,1	11,5	4,2
Окисна		33,3	6,8	1,7	47,3	5,7	-	43,9	8,9	3,3
Вихідна		100	20,4	5,1	35,9	6,8	-	100	20,4	7,5
Карбонатна	-100+25	72,8	72,8	18,0	29,0	7,6	11,6	59,2	59,2	21,5
Окисна		27,2	27,2	6,8	54,0	4,6	-	40,8	40,8	14,9
Вихідна		100	100	24,8	35,8	6,8	-	100	100	36,4

Авторська розробка

У зв'язку з необхідністю збільшення промислового використання карбонатних руд рекомендується випробувати технологію їх попереднього



збагачення і збагачення із застосування роздільного усереднення, фотометричного сортування та високоградієнтної сепарації після розкриття фосфатів.

При селективній здобичі та високо градієнтному збагаченні руд з пластів, які містять вільні фосфати, можна істотно збільшити вихід малофосфористих феромарганцевих концентратів і у декілька разів скоротити кількість руди, що направляється на металургійну дефосфорацію.

Близько 70% розвіданих запасів вітчизняних марганцевих руд представлено карбонатними різновидами, тому передбачається збільшення об'єму переробки карбонатних марганцевих руд. Для карбонатних концентратів характерна відносно невисока масова доля марганцю, що обумовлено його мінеральною формою. Тому концентрати карбонатних руд мають обмежене застосування внаслідок підвищеного, порівняно з окисними, питомого вмісту кремнезему і фосфору і використовуються нині як компонент шихти при виробництві марганцевих феросплавів і чавуну.

Раніше виконані дослідження збагачення карбонатних марганцевих руд не вирішували задачу отримання концентратів підвищеної металургійної цінності. Майбутнє широке залучення до переробки карбонатних руд зумовило необхідність проведення додаткових досліджень. Можливість отримання концентрату із заданою масовою долею кремнезему визначається характером його взаємозв'язку з основним компонентом. Наявність зв'язку визначає можливість отримання концентратів із заданою масовою долею кремнезему.

Можливість видалення кремнію визначається методом гравітаційного розподілу по щільності від 2600 до 3200 кг/м³ з інтервалом 200 кг/м³ при послідовному зменшенні великості митої руди від 50,0 мм до 10,0; 3,0; 0,5 і 0,16 мм. Усі фракції гравітаційного розподілу аналізувалися на марганець і кремнезем. Проведені дослідження показали що при подрібненні до - 3 мм відбувається часткове розкриття рудних мінералів; у концентраційній фракції щільністю більше 3000 кг/м³, виділеною з подрібненої до великості менше 3 мм митої руди, масова доля кремнезему не перевищує 8%; при подрібненні



промпродуктів до - 0,16 мм за рахунок подальшого розкриття мінералів забезпечується можливість додаткового виділення малокремнеземного концентрату.

Проведені лабораторні випробування підтвердили результати технологічного аналізу. Розроблена магнітно-гравітаційно-флотаційна схема отримання мало-кремнеземного карбонатного концентрату з наступними показниками: вихід 37,5%; масова доля марганцю в концентраті 30,3%; кремнезему - 7,0%; витягання марганцю в малокремнеземний концентрат - 60,3%; у сумарний - 77,3%.

Враховуючи погіршення речового складу карбонатної руди по простяганню пласта з півночі на південь, на Грушевському кар'єрі Марганецького ГЗК відібрали п'ять технологічних проб масою до 50 кг для дослідження по отриманню малокремнеземного концентрату. З усіх проб за магнітно-гравітаційною технологією отриманий карбонатний концентрат з масовою долею кремнезему менше 10%. Встановлений тісний зв'язок між кількістю рудних мінералів в початковій пробі і виходом мало-кремнеземного гравітаційного концентрату.

Розроблена схема отримання малокремнеземного карбонатного концентрату перевірена в промислових і напівпромислових умовах. На Грушевській збагачувальній фабриці проведені випробування магнітно-гравітаційної частини схеми, а магнітна для флотації частина випробувана на дослідному виробництві інституту. Підтверджена можливість отримання карбонатного концентрату з масовою долею кремнезему менше 10% з руд Грушевсько-Басанської ділянки Нікопольського родовища.

Карбонатні шматки Олександровської руди розміром більше 10 мм містять мало кварцових включень, і частенько масова доля кремнезему в них не перевищує 10%. У класі 10^{-3} мм малокремнеземний концентрат отримують у фракції з щільністю більше 2800 кг/м^3 , і він може бути виділений відсадженням.

Схема випробувань включала наступні операції: дроблення початкової руди до 50 мм, промивання, класифікацію митої руди за величиною 3 мм, відсадження



класу плюс 3 мм з отриманням малокремнеземного концентрату. Промпродукт великого відсадження об'єднували з класом - 3 мм митої руди і до збагачували на дослідному виробництві. У результаті збагачення карбонатної руди Олександрівського кар'єру отримано 30,0% по виходу малокремнеземного концентрату з масовою долею марганцю 29,1% і кремнезему 9,2%, витягання марганцю в малокремнеземистий концентрат склало 45,0%, а в сумарний концентрат - 75,0%.

Впродовж ряду років проводили дослідження кернових проб карбонатної руди Нікопольського родовища. Встановлена схожість їх речового складу і технологічних властивостей з карбонатною рудою Олександрівського кар'єру. У промислових умовах на Грушевській збагачувальній фабриці Марганецького ГЗК проведена оцінка збагачуваності руди. Отриманий малокремнеземний карбонатний концентрат при виході 36,2% і витяганні марганцю 59,9%; масова доля марганцю в ньому склала 27,5% і кремнезему - 10,4%. З промпродукту на дослідному виробництві інституту за магнітно-гравітаційною схемою отриманий додатково малокремнеземний концентрат.

З урахуванням особливостей речового складу і збагачуваності руд розроблені технологічні схеми отримання малокремнеземних карбонатних концентратів. Схеми відрізняються завглибшки збагачення, що забезпечує отримання концентрату з масовою долею кремнезему менше 10%. Загальними для усіх схем вузлами є промивання і збагачення подрібненого до - 0,16 мм промпродукту. Витягання марганцю в малокремнеземний концентрат складає 61-65%, в сумарний - 75-77%. Технічні показники збагачення за рекомендованими схемами приведені в таблиці 2.

Металургійна оцінка малокремнеземного карбонатного концентрату показала його придатність за величиною масової долі кремнезему для виплавки силікомарганцю. Проте внаслідок високого питомого вмісту фосфору доля мало кремнеземного концентрату в шихті не може перевищити 25%.



Таблиця 2 - Дані дослідження технологічних показників збагачення карбонатної марганцевої руди

Продукт збагачення	Вихід, %	Масова частка, %		Вилучення Mn, %
		Mn	SiO ₂	
Покровська збагачувальна фабрика				
Малокремнеземистий концентрат	37,5	28,8	9,5	65,1
Карбонатний концентрат II сорту	7,4	26,5	20,5	11,8
Всього концентрату	44,9	28,4	11,3	76,9
Хвости та шлами	55,1	7,0	65,2	23,1
Вихідна руда	100	16,6	41,0	100

Авторська розробка

Висновки.

1. Застосування рудного самоподрібнення для дезінтеграції рядових карбонатних і змішаних марганцевих руд виключає з раніше розроблених технологічних схем малопродуктивні і малоефективні операції підготовчого дроблення, грохочення і промивання, скорочує багатоопераційність технологічних схем, значно спрощує ланцюг апаратів.

2. Металургійна оцінка малокремнеземного карбонатного концентрату показала його придатність за величиною масової долі кремнезему для виплавки силікомарганцю.

3. В агломераті з окисно-карбонатного концентрату міститься марганцю більше на 1,85%, дрібниці (<5 мм) менше на 3,22% і продуктивність агломашини при його виробництві вище на 9,7%. Підвищення міцності і продуктивності пояснюється більшою мірою офлюсування агломерату.

4. При використанні дослідного агломерату витягання марганцю збільшилося на 1,79%, кремнію - на 2,5%, питома витрата електроенергії зменшилася на 2,53%, а продуктивність печі підвищилася на 5,25%. Відношення SiO₂/Mn в суміші концентрату і агломерату в дослідний період складало 0,36, а в порівнюваному (на звичайному агломераті) - 0,45.



Література:

1. Кирилова О. Аналітичний огляд і критичний аналіз класифікацій транспортно-технологічних систем. Наукові праці SWorld: міжнародне періодичне наукове видання. 2015. Т.1, Вип. 2 (39). С. 11–20.. DOI: 10.21893 / 2410-6720-2016-44-1-111
2. Кривенко В.В., Лялюк В.П., Чупринов Є.В., Трус І.М., Овчарук А.М. Оцінка металургійної цінності марганцевої сировини. Вісник Приазовського державного технічного університету. 2021. № 42. С. 43-50.
3. Грищенко С.Г., Проскурин Т.П., Люборец І.І. Современное состояние и перспективы развития добычи и переработки марганцевого сырья на Украине. Сталь. 1992. № 10. С. 39-41.
4. Мостыка Ю.С. Кинетика мокрой высокоградиентной магнитной сепарации. Збагачення корисних копалин: науково-технічний збірник НГУ. 2003. № 18 (59). С. 118-129.
5. Мянзовська Я.В., Пройдак Ю.С., Камкіна Л.В. Перетворення мінеральних складових марганцевих руд при температурних умовах формування агломерату. Теорія і практика металургії. 2019. № 3. 2019. С. 42-51.
6. Петров А.В. Технология термической обработки и окускования марганцевых концентратов : монография. Кривой Рог: Изд. Р.А. Козлов, 2019. 519 с.

Abstract. This study examines the methods for improving the quality of manganese concentrates. Samples of carbonate ores from various deposits were investigated. Instead of the traditional approach involving washing, crushing, and jigging of coarse fractions followed by flotation of slimes, the ore was subjected to self-grinding in a "Cascade" mill and high-gradient enrichment of the slimes. As a result of the experiments, a magnetic-gravitational-flotation scheme was developed for producing a low-silica carbonate concentrate. The proposed scheme was tested under industrial and semi-industrial conditions..

Key words: concentrate, ore, transformation flotation, carbonate.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Куріс Ю.В.

Статтю надіслано: 15.09.2025 г.

© Куріс Ю.В.