

Исследование минералогического состава и металлургической характеристики продуктов обогащения фосфорита Малокамышеватского месторождения, как сырья для выплавки феррофосфора

Изложены результаты исследования минералогического состава обогащенного фосфорита Малокамышеватского месторождения (16,1 % P_2O_5) по разработанной магнито-флотационной схеме. В конечном продукте основной флотации после постадийной перечистки содержание P_2O_5 составило 27,2 %. Проанализированы области использования фосфоритовой руды и продуктов ее обогащения при выплавке феррофосфора для легирования стали и чугунов фосфором. Ил. 1. Табл. 1. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: фосфорит, месторождения, минералогический состав, магнито-флотационная схема обогащения, продукты камерной и пенной флотации, феррофосфор

Research results of mineralogical makeup of concentrated phosphorite of Malokamyshevskiy deposit (16,1 % P_2O_5) according to the developed magnito-flotation scheme are presented. End product of basic flotation after stepwise recleaning had the content of P_2O_5 27,2 %. Fields of application of phosphate ore and its concentrates while smelting of ferrophosphorus for alloying of steel and pig iron by phosphorus are analyzed.

Keywords: phosphorite, deposit, mineralogical makeup, magnito-flotation scheme of treatment, products of cell and froth flotation, ferrophosphorus

Высокие темпы развития производства стали в мире обуславливает необходимость соответствующего роста производства легирующих ферросплавов. Учитывая сокращение минеральных сырьевых ресурсов для выплавки ферросплавов, в последние десятилетия активизировались научные разработки и опытно-промышленные эксперименты по расширению сортамента фосфорсодержащих групп и марок сталей и чугунов различного назначения.

В настоящее время для легирования сталей и чугунов используется феррофосфор (15-24 % P, 8-12 % Si ост. Fe), как попутный продукт экспериментального производства желтого фосфора, индустриальный потенциал которого сосредоточен в Казахстане и России. Вместе с тем производство желтого фосфора электротермическим способом в мире, в том числе Казахстане и России, существенно сократилось по причине повышения стоимости исходной богатой фосфоритовой руды, цены на электроэнергию и затрат на экологические мероприятия. Наряду с этим не менее важной причиной является наращивание производства фосфатных продуктов конкурирующими технологиями переработки фосфоритов.

В Украине производство желтого фосфора и феррофосфора не существовало, хотя имеется ряд месторождений фосфоритов. В Харьковской об-

ласти разведаны три месторождения фосфоритов (Изюмский район) с запасами более 5 млн т руды в пересчете на P_2O_5 . Основными группами месторождений являются Малокамышеватское, Изюмское и Синично-Яремовское.

Фосфорсодержащее вещество в фосфоритовой руде представлено фосфатной массой (отнесенной к минералу франколиту $(Ca_5(PO_4)_3CO_2)_2Fe$), цементирующий нерудные минералы, преимущественно кварц, глауконит $((K, Na, Ca)_{>1}(Al, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mg)_2[(OH)_2 | Al_{0,35}Si_{0,65}O_{10}])$, кальцит и плагиоплаз (твердые растворы в ряду минералов альбит $Na[AlSi_3O_8]$ – анортит $Ca[Al_2Si_2O_8]$).

Проведенный комплекс экспериментальных исследований минеральной структуры исходной фосфоритовой руды с применением петрографии электронной микроскопии, подтвердили возможность постановки экспериментов по разработке эффективной технологии обогащения фосфорита отечественного месторождения.

Петрографическое исследование

Комплексному исследованию минералогического состава фосфоритовой руды была подвергнута проба фосфорита из рудного пласта Малокамышеватской группы месторождений следующего химического состава, % масс.:

| | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|------|------------------|-------|------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|--------|-----|
| P ₂ O ₅ | Fe ₂ O ₃ | FeO | SiO ₂ | CaO | NgO | Al ₂ O ₃ | MnO | Na ₂ O | K ₂ O | п.п.п. | F |
| 17,0 | 5,05 | 0,65 | 31,30 | 30,91 | 2,45 | 1,72 | 0,30 | 0,42 | 0,69 | 6,8 | 1,5 |

По разработанной методике и соответствующей подготовки образцов для исследования с применением оптического микроскопа определен минеральный состав фосфоритовой руды:

| Минерал | Формула | Содержание, объемный % |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| кварц | SiO ₂ | 46,4 |
| франколит | Ca ₅ (PO ₄ , CO ₃) ₃ F | 27,9 |
| глауконит | (K, Na, Ca) ₋₁ (Al, Fe ³⁺ , Fe ²⁺ , Mg) ₂ • [(OH) ₂ • Al _{0,35} Si _{3,65} O ₁₀] | 17,6 |
| кальцит | CaCO ₃ | 5,1 |
| плагмоплаз | Na[AlSi ₃ O ₈] - Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈] | 1,4 |
| ильменит | FeO×TiO ₂ | 0,9 |
| гидрогетит (лимонит) | a-FeOОН | 0,3 |

Остальные выявленные минералы – гидробитит (K, H₂O) (Mg, Fe³⁺ Mn)₃[(OH, H₂O | AlSi₃O₁₀], пирит FeS₂ и др. содержатся не более 0,1 % объемн.

Рентгенографические исследования

Рентгеноструктурные исследования порошковых образцов исходного и обожженного при температурах от 600 до 1100 °С фосфорита выполнены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М в CuKα излучении при ускоряющем напряжении 30 кВ. Установлено, что основным фосфорсодержащим минералом является фторкарбонгидроксилапатит Ca_{10-y}F₂(PO₄)₄(OH)_{2x}(CO₃)_y.

Электронно-микроскопические исследования

Эксперименты проводили на электронном растровом микроскопе JSM-6320, оснащенный приставкой для проведения рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) с программным обеспечением автоматического расчета химсостава микрозондированных минеральных образований, в том числе и методом цветного картирования.

Анализ данных исследований подтвердил наличие в минеральных структурах пробы фосфорита наличие элементов (O, F, Na, Mg, Si, P, S, K, Ca, F). Выделены минералы трех групп: кварцсодержащие (94,66 % SiO₂), глинистые алюмосиликатные (нефосфористые минеральные образования экзогенного происхождения) и единственное фосфорсодержащее образование (14,38 % P, 38,8 % Ca, 3,65 % F и др.), отнесенное к фторкарбонгидроксилапатиту.

Разработка магнито-флотационной технологической схемы обогащения фосфорит; результаты экспериментов

Проба фосфоритовой руды (16,1 % P₂O₅) подвергалась дроблению, изменению классификаций с последующей магнитной сепарацией. Получен магнитный продукт (3 % P₂O₅) и немагнитный продукт (17,5 % P₂O₅). После основной флотации немагнитный продукт подвергался перечисткам. Полученный концентрат содержал 27,2 % P₂O₅ при выходе 41,7 % и степени извлечения 70,45 %. Разработанная технологическая схема магнито-флотационного обогащения фосфоритовой руды приведена на рисунке.

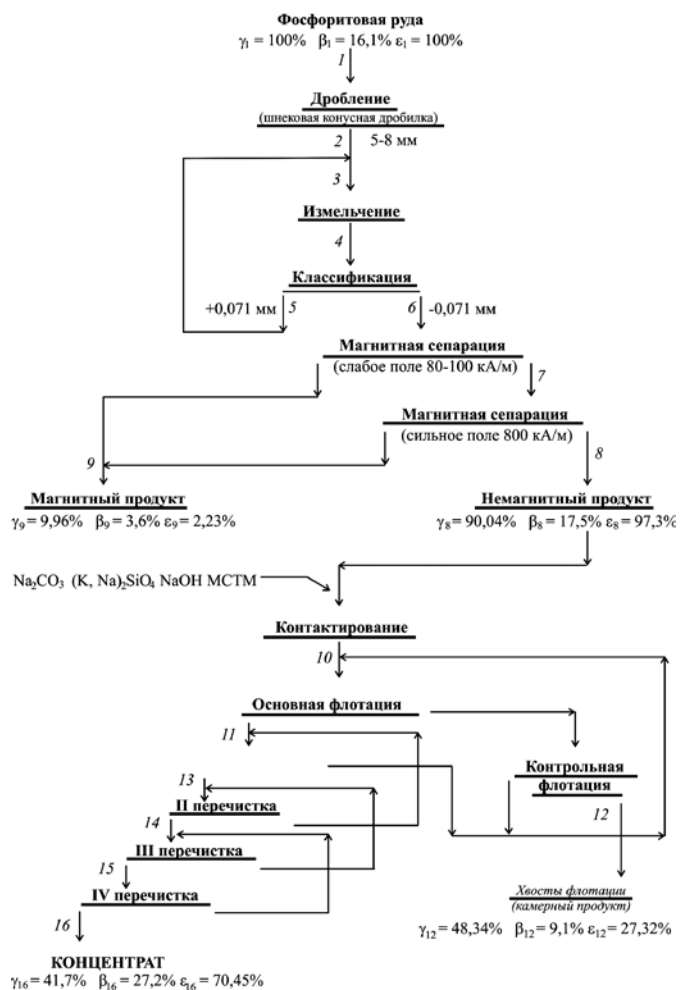


Рисунок. Технологическая схема обогащения фосфоритовой руды Малокамышеватского месторождения: γ – выход концентрата (от заданного % масс.: β – содержание ведущего компонента; ε – степень извлечения ведущего компонента в концентрат)

В результате магнитного обогащения фосфоритовой руды измельченной до 98 % класс минус 0,074 в магнитный продукт сконцентрировались железосодержащие минералы – гидрогетит и магнетит, а также частично кварц и глауконит. Разделение остающихся в немагнитном продукте кварца и франколита наиболее эффективно осуществляется по флотационной технологии. По результатам предва-

рительных исследований с математическим планированием экспериментов установлены оптимальные расходы соды Na_2CO_3 и натриевого жидкого стекла $\text{Na}_3\text{SiO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в операции контактирования 800 и 300 г/т соответственно, при продолжительности контактирования по 5 мин на каждую операцию. Оптимальный расход флотореагента – мыла сырого талового масла (МСТМ) – составляет 1000 г/т; продолжительность стадии флотации 15 мин. Минералогические составы продуктов постайдийного обогащения пробы фосфоритовой руды приведены в таблице.

Таблица. Минералогические составы продуктов обогащения фосфоритовой руды по магнито-флотационной схеме

| Содержание (% масс.) в продуктах обогащения | | | | | |
|---------------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------|-----------------------------|----------------|
| Минерал | Магнитная сепарация | | Флотация | | Пенный продукт |
| | в магнитном продукте | в немагнитном продукте | камерный продукт | продукт камерной перечистки | |
| кварц | 16,7 | 47,1 | 55,2 | 45,2 | 41,8 |
| франколит | 9,7 | 29,1 | 20,9 | 29,1 | 45,8 |
| глауконит | 48,1 | 13,7 | 16,2 | 15,1 | 3,3 |
| кальцит | 2,7 | 7,4 | 3,2 | 7,7 | 7,8 |
| плаггиоклаз | 0,1 | 0,9 | 1,3 | 0,9 | 0,4 |
| ильменит | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,1 |
| гидрогетит | 13,1 | 0,7 | 2,6 | 0,7 | 0,3 |
| магнетит | 9,4 | 0,1 | 0,0 | 0,7 | 0,5 |
| прочие | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,1 | 0,0 |
| Всего: | 100,0 | 100,0 | 10-0,0 | 100,0 | 100,0 |

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования минералогического состава фосфоритовой руды Малокамышеватской группы месторождений фосфатов и результаты обогащения ее по магнито-флотационной схеме подтверждают возможность получения высококачественного (по содержанию P_2O_5) продукта обогащения по разработанной технологической схеме.

Выводы

1. Выполнены петрографические и рентгено-структурные исследования микроструктуры образцов фосфоритовой руды Малокамышеватской группы месторождений фосфорита. Установлено, что фосфорсодержащий минерал в фосфоритной руде представлен фторкарбонгидроксилкапатитом.

2. Проведены эксперименты по магнитному способу обогащения фосфоритовой руды в полях разной напряженности выделения минеральных разностей.

3. Исследованы процессы выделения различных магнитных разностей флотационным способом, руководствуясь данными практики флотации фосфористых руд и предварительно выполненными в настоящей работе исследованиями.

4. Разработана схема обогащения фосфоритовой руды, предусматривающая перед стадией флотации магнитную сепарацию.

Библиографический список

1. Гасик М. И. Рентгеноспектральный микроанализ минеральных образований в структуре фосфоритов сырья для электротермического производства феррофосфора / М. И. Гасик, А. Ю. Пройдак // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2007. – № 3. – С. 34-35.

2. Петрографические исследования минерального состава фосфоритовой руды как сырья для выплавки феррофосфора / А. Ю. Пройдак, О. И. Поляков, М. И. Гасик, Т. А. Олейник, В. Н. Харитонов // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2009. – № 4. – С. 32-35.

Поступила 01.04.2014

