

УДК 669.046.545.2:622.341.1

# ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОСФОРАЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ Gara Djebilet (Алжир) ПИРОГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Л. А. Зайнуллин<sup>1</sup>, В. Г. Карелин<sup>1</sup>, А. Ю. Епишин<sup>1</sup>,  
Д. А. Артов<sup>1</sup>, Н. А. Спириин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «ВНИИМТ» (г. Екатеринбург, Россия),

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО УрФУ (г. Екатеринбург, Россия)

Проведены лабораторные исследования по дефосфорации алжирской железной руды по комплексной пирогидрометаллургической технологии. На первой технологической стадии проводится магнетизирующий обжиг руды крупностью 2 – 0 мм. Обожженную руду измельчают и подвергают мокрой магнитной сепарации. Полученный концентрат обрабатывается слабым раствором серной кислоты, при этом значительная часть фосфора переходит в раствор. В итоге такой технологии получен железорудный концентрат с содержанием, %: фосфора 0,15 – 0,19 и железа 64,0 – 65,3, который может быть использован в доменном переделе.

**Ключевые слова:** железная руда, магнетизирующий обжиг, измельчение, магнитная сепарация, сернокислотная обработка.

На территории Алжира в северной части Сахары находится одно из крупнейших в мире месторождений железной руды Gara Djebilet, освоение которого сдерживается высоким (до 1 %) содержанием фосфора. Многочисленные и многолетние исследования, проведенные разными исследовательскими центрами с использованием механических методов обогащения, не дали положительных результатов по дефосфорации этой алжирской железной руды.

В ОАО «ВНИИМТ» разработана пирогидрометаллургическая технология дефосфорирования железных руд, использование которой позволило получить из алжирской железной руды дефосфорированный концентрат с содержанием 0,15 – 0,19 % P, приемлемый для использования в доменном производстве. В статье приводятся результаты лабораторных исследований по обогащению и дефосфорации железной руды (проба 1) месторождения Gara Djebilet с использованием пирогидрометаллургической технологии.

Вещественный состав пробы исследован в ОАО «Уралмеханобр». Полный химический состав исходной железной руды, мас. %: 52,1 Fe<sub>общ</sub>; 2,1 FeO; 61,1 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 8,7 SiO<sub>2</sub>; 5,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2,5 CaO; 0,6 MgO; 0,75 P; 0,4 MnO; 6,3 пмпп. Проба представлена песчаным материалом крупностью 2 – 0 мм со значительным количеством тонкого пылевого материала, содержание которого в крупности 0,1 – 0 мм составило 25,1 %. Основная форма текстуры — оолитовая, обусловленная концентрически зональными агрегатами (рисунок).

Минеральный состав исходной железной руды, мас. %: минералы — гематит 35, маггемит 14, гетит и гидрогетит 12, магнетит 11, ильменит < 1; нерудные минералы — шамозит 14, сидерит 4, кальцит и долормит 3, кварц 2, апатит 2, силикаты, алюмосиликаты и алюмофосфаты (амфиболы, пироксены, слюды) 3. По данным фазового анализа основной формой проявления фосфора является апатит (54,67 мас. %); 29,33 мас. % фосфора связаны с минералами железа, 16 мас. % фосфора — с вивианитом и алюмофосфатами.

Учитывая значительное (61 %) суммарное количество в исходной железной руде гематита, маггемита, гетита и гидрогетита, для успешного обогащения руды по железу предварительно проводили магнетизирующий обжиг руды с переводом указанных минералов в магнетит, что позволило эффективно провести последующую магнитную сепарацию. В предварительных опытах показано, что при обработке исходной руды слабым раствором серной кислоты получается материал с высоким (0,54 %) содержанием фосфора. Предварительный обжиг руды и обработка в растворе серной кислоты позволяют существенно уменьшить содержание фосфора в концентрате: при обжиге фосфорсодержащий минерал разлагается, последующая сернокислотная обработка переводит образовавшийся при разложении фосфор в раствор. Таким образом, предварительный слабовосстановительный магнетизирующий обжиг алжирской железной руды проводится для достижения двух целей: перевода оксидов железа в форму магнетита и высокотемпературной обработки для улучшения качества концентрата, полученного при последующей сернокислотной обработке.

Магнетизирующий обжиг железной руды проведен на лабораторных установках: в реакционном стакане с использованием газообразного восстановителя (смесь CO и CO<sub>2</sub>), обеспечивающего восстановление оксидов железа до магнетита и исключающего образование вюстита, а также во вращающейся печи с применением твердого восстановителя (угля). На газообразном и на твердом восстановителях получено одинаковое качество обжига (в обожженной руде подавляющая часть железа находилась в форме магнетита за исключением железа, связанного с шамозитом).

Обогащение обожженной руды проводили на лабораторном магнитном сепараторе ПБМ-П-400×150 при напряженности магнитного поля 1100 – 1300 Э с двойной перемывкой концентрата. Предварительно обожженную руду измельчали в мокрой шаровой мельнице до крупности 0,071 – 0 мм. При оптималь-

ных условиях магнитного обогащения обожженной руды было получено, %: содержание в концентрате железа — 64,3, фосфора — 0,50; извлечение в концентрат железа — 79,8, фосфора — 46,5; количество концентрата от обожженной руды — 71,9.

Исследования по магнитному обогащению алжирской обожженной руды показали, что при магнитной сепарации значительная часть фосфора, содержащегося в исходной руде, переходит в немагнитную фракцию. При этом содержание фосфора в магнитном концентрате (0,50 %) уменьшается по сравнению с содержанием фосфора в исходной руде (0,75 %).

Сернокислотную обработку концентрата, полученного при мокрой магнитной сепарации обожженной руды, проводили в керамическом стакане с мешалкой при скорости вращения 250 мин<sup>-1</sup>. Степень дефосфорации  $\phi$  рассчитывали по следующей формуле

$$\phi = (1 - A_{д.к}^P / A_{и.р}^P) \cdot 100 \%,$$

где  $A_{д.к}^P$  и  $A_{и.р}^P$  — содержание, %, фосфора в дефосфорированном концентрате и в исходной руде соответственно.

Эффективность дефосфорации зависит от нескольких факторов: крупности измельченной руды; температуры и длительности обжига; удельного расхода и концентрации серной кислоты; температуры и длительности дефосфорации. В многочисленных опытах установили оптимальную температуру предварительного обжига алжирской руды:  $900 \pm (10 - 20) ^\circ\text{C}$ . При сернокислотной обработке необоженной исходной руды крупности 2 – 0 мм степень дефосфорации составила всего 28,0 %. При сернокислотной обработке предварительно обожженной руды такой же крупности 2 – 0 мм степень дефосфорации увеличилась до 40 %. При сернокислотной обработке обожженной и обогащенной руды (концентрата) при крупности 95 % класса менее 0,071 мм степень дефосфорации составила 77,3 % при содержании фосфора 0,17 % в дефосфорированном концентрате.

При сернокислотной обработке обожженного и обогащенного концентрата существенно влияет удельный расход, г, серной кислоты (на 100 г концентрата). Сравнительные данные по удельному, г/г, расходу серной кислоты:

Удельный расход серной кислоты, г/г	10/100	20/100
Содержание фосфора в дефосфорированном концентрате, %	0,38	0,16
Степень дефосфорации, %	49,4	74,7
Содержание железа в дефосфорированном концентрате, %	64,3	65,3

При удельном, г/г, расходе серной кислоты 20/100 получен дефосфорированный концентрат с содержанием фосфора 0,16 % и содержанием железа 65,3 %. При этом степень дефосфорации составила 74,7 %. Относительно повышенный удельный расход серной кислоты объясняется тем, что при сернокислотной обработке



Крупный концентрически зональный агрегат оксидов железа, сложенный из множества тончайших слоев гематита, магнетита и гетита

серная кислота расходуется не только на перевод в раствор фосфора (в виде фосфорной кислоты), но и на растворение части кремнезема (в форме кремниевой кислоты). Химический состав, мас. %, продуктов:

	Fe	P	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Руда				
исходная	52,1	0,75	8,74	5,22
обоженная	58,7	0,80	9,29	5,52
Концентрат				
магнетитовый	65,3	0,52	4,72	3,78
обесфосфоренный	65,0	0,17	3,71	3,75

Как видно, при сернокислотной обработке обожженного и обогащенного концентрата получается дефосфорированный концентрат с содержанием, %: 0,17 P; 3,71 SiO<sub>2</sub>; 3,75 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При этом степень удаления от исходной руды до дефосфорированного концентрата, %: P — 77,3; SiO<sub>2</sub> — 57,6; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 71,8, а степень извлечения при собственно сернокислотной обработке, %: P — 67,3; SiO<sub>2</sub> — 21,3; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0,8. Из представленных данных видно, что при сернокислотной обработке кроме фосфора в раствор переходит около пятой части SiO<sub>2</sub>, а Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> практически в раствор не переходит.

Минералогический и рентгенографический анализ дефосфорированного концентрата показал, что он состоит из магнетита (89 %) и многокомпонентных железоалюминиевых силикатов и алюмосиликатов переменного состава (11 %), часть которых содержит фосфор в виде алюмофосфатов, находящихся в исходной руде. Кроме того, алюмофосфаты могут образовываться в процессе сернокислотной обработки концентрата за счет взаимодействия оксида алюминия с образующейся фосфорной кислотой. Вероятно, именно наличием алюмофосфатов, не растворимых в воде, можно объяснить относительно повышенное содержание фосфора в дефосфорированном концентрате.

Статья поступила 23.03.2020

## Контактная информация

Данная статья опубликована в журнале Сталь № 5, 2020 г., посвященном 90 летнему юбилею научно-исследовательского института металлургической теплотехники ОАО «ВНИИМТ». Институт ВНИИМТ предлагает эффективные технологии переработки металлургического сырья и энергоэффективные печные агрегаты, горелочные устройства для металлургии и машиностроения.

Если Вас заинтересовала информация, представленная в данной статье, Вы можете обратиться по следующим координатам.

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»  
(ОАО «ВНИИМТ»).

620137, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Факс.: +7 (343) 374-29-23

Email: [aup@vniimt.ru](mailto:aup@vniimt.ru)

[www.vniimt.ru](http://www.vniimt.ru)