

УДК 622.78:553.26

**А.А. Мухтар, М.К. Мухымбекова, А.С. Макашев,
Ж.С. Нускабеков, А.Д. Момынбеков, Б.К. Касымова**

ОБЖИГМАГНИТНОЕ ОБОГАЩЕНИЕ БУРОЖЕЛЕЗНЯКОВОЙ РУДЫ АБАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Исследован процесс магнетизирующего обжига руды Абаилского месторождения в присутствии водной эмульсии нефти методом математического планирования экспериментов. Получен магнитный концентрат с содержанием железа 68,45%.

Ключевые слова: бурожелезняковая руда, магнитная сепарация, обжиг, водная эмульсия нефти, магнитное обогащение, магнитный концентрат.

Абаилское месторождение буро-железняковой руды расположено в Южно-Казахстанской области Республики Казахстан [1], по запасам относится к средним месторождениям. Исследованиями ранее установлено, что наиболее приемлемым способом обогащения данной руды является прокатка, обеспечивающая получение концентрата с высоким содержанием железа [2]. Из анализа работ [3–7] следует, что применение жидких вос-

становителей позволяет значительно интенсифицировать процесс магнетизирующего обжига.

В настоящей работе исследован процесс магнетизирующего обжига руды в присутствии водной эмульсии нефти с целью получения магнитного концентрата с высоким содержанием железа.

Ранее был установлен химический, фазовый и минералогический состав руды методами термографического,

Таблица 1

Гранулометрический состав руды

| Класс | Выход | | Fe | | SiO ₂ | | Al ₂ O ₃ | | CaO | |
|------------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------|-------|
| | гр | % | сод. | извл. | сод. | извл. | сод. | извл. | сод. | извл. |
| -5+3 | 22,10 | 14,54 | 57,60 | 14,68 | 3,80 | 10,88 | 0,30 | 9,70 | 0,33 | 11,70 |
| -3+2 | 30,32 | 19,95 | 57,47 | 20,10 | 4,85 | 19,05 | 0,46 | 20,39 | 0,33 | 16,06 |
| -2+1 | 10,80 | 7,11 | 57,20 | 7,13 | 5,40 | 7,56 | 0,38 | 6,00 | 0,33 | 5,72 |
| -1+0,5 | 23,67 | 15,57 | 57,20 | 15,61 | 5,72 | 17,53 | 0,30 | 10,38 | 0,33 | 12,53 |
| -0,5+0,315 | 17,45 | 11,48 | 57,33 | 11,54 | 5,60 | 12,66 | 0,42 | 10,71 | 0,50 | 14,00 |
| -0,315+0,2 | 11,36 | 7,47 | 56,53 | 7,40 | 5,50 | 8,09 | 0,58 | 9,63 | 0,50 | 9,11 |
| -0,2+0,16 | 6,10 | 4,01 | 56,26 | 3,95 | 5,20 | 4,10 | 0,60 | 5,35 | 0,50 | 4,89 |
| -0,16+0 | 30,20 | 19,87 | 57,47 | 19,58 | 5,15 | 20,13 | 0,63 | 27,84 | 0,50 | 25,99 |
| Итого | 152 | 100 | – | 100 | – | 100 | – | 100 | – | 100 |

Таблица 2

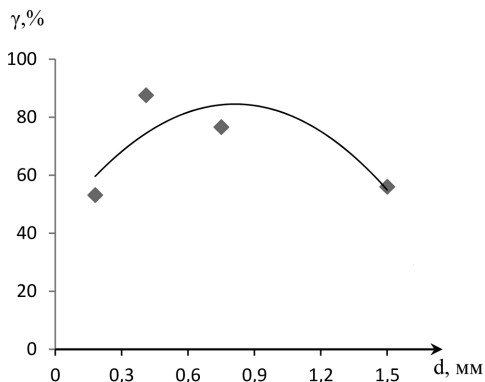
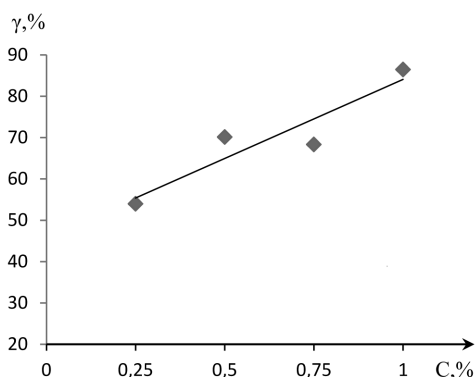
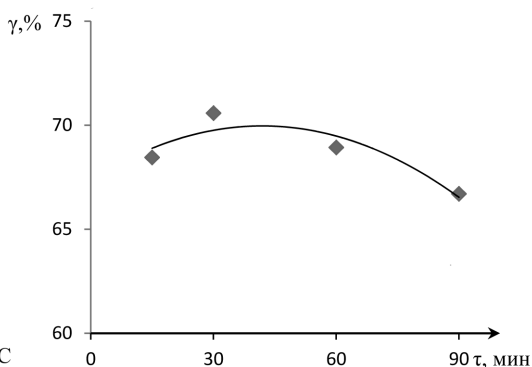
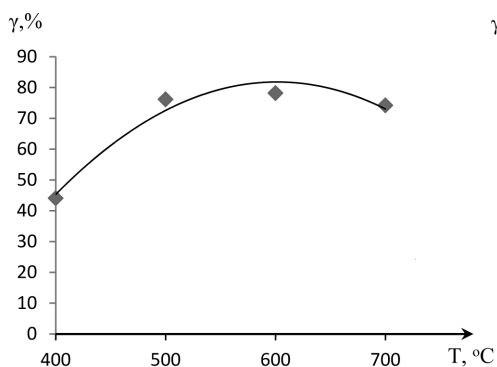
Уровни изучаемых факторов

| № | Факторы | Обозначение | Уровень | | | |
|---|---------------------------------------|-------------|---------|------|------|-----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Температура, °С | T | 400 | 500 | 600 | 700 |
| 2 | Концентрация водной эмульсии нефти, % | C | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,0 |
| 3 | Продолжительность, мин | τ | 15 | 30 | 60 | 90 |
| 4 | Крупность класса, мм | d | 0,18 | 0,41 | 0,75 | 1,5 |

рентгенофазового, химического анализа и Мессбаэровской спектроскопии. Показано, что соединения железа в руде преимущественно представлены гидрогетитом (61%), гематитом (39%), кварцем и т.д. Гранулометрический состав руды представлен в табл. 1. Анализируя ситовую характеристику классов, следует отметить, что

как таковой зависимости содержание железа от крупности руды не наблюдается. В разных классах крупности содержание железа отличается не значительно [2].

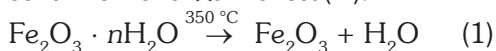
Для исследования использовалась проба руды с химическим составом, в %: Fe – 57,05; SiO₂ – 5,08; Al₂O₃ – 0,45; CaO – 0,41.



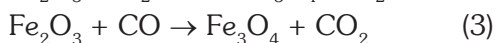
Частные зависимости выхода магнитной фракции от температуры (а), продолжительность обжига (б), концентрации водной эмульсии нефти (в) и крупности класса (г)

В работе [2] изучен магнетизирующий обжиг бурожелезняковой руды в присутствии водной эмульсии нефти, где установлен следующий химизм процесса:

дегидратация гидрогетита с образованием оксида железа(III):



Далее оксид железа (III) вступает в реакцию с продуктами пиролиза нефти (H_2 , CO и т.д.) образуя магнетит по реакциям:



Для исследования магнетизирующего обжига Абаилской бурожелезняковой руды в присутствии водной эмульсии нефти была проведена серия экспериментов по методу планирования [8, 9]. В качестве изучаемых факторов выбраны: температура обжига (T , $^\circ\text{C}$), продолжительность (τ , мин), концент-

рация водной эмульсии нефти (C , %) и крупность класса (d , мм). Степень магнетизации (Y , %) обожженной руды контролировали по выходу магнитной фракции на магнитном анализаторе УЭМ-1Т при напряженности магнитного поля 800э.

Экспериментальные пробы руды по 100 г обрабатывались эмульсией с содержанием нефти от 0,25% до 1,0%. Обжиг проб проводился в интервале температур 400–700 $^\circ\text{C}$ в лабораторной печи типа CNOL, в корундизовых тиглях в течение 15–90 мин.

В табл. 2 приведены уровни изучаемых факторов.

Условия и результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Из экспериментального массива данных произведена выборка, которая позволила построить зависимости выхода магнитной фракции от исследуемых факторов (рисунок). Уравнения описывающие частные зависимости, а также

Таблица 3

Экспериментальные ($Y_{\text{э}}$) и расчетные ($Y_{\text{р}}$) значения выхода магнитной фракции

| № | Исследуемые факторы | | | | Выход магнитной фракции, % | |
|----|------------------------|---------|--------------|----------|----------------------------|----------------|
| | T , $^\circ\text{C}$ | C , % | τ , мин | d , мм | $Y_{\text{э}}$ | $Y_{\text{р}}$ |
| 1 | 400 | 0,75 | 15 | 0,18 | 14,22 | 41,33 |
| 2 | 400 | 0,50 | 30 | 1,5 | 48,71 | 34,15 |
| 3 | 400 | 0,25 | 60 | 0,75 | 31,76 | 44,36 |
| 4 | 400 | 1,0 | 90 | 0,41 | 81,59 | 52,24 |
| 5 | 500 | 1,0 | 15 | 1,5 | 71,29 | 68,33 |
| 6 | 500 | 0,25 | 30 | 0,18 | 59,87 | 51,34 |
| 7 | 500 | 0,50 | 60 | 0,41 | 86,04 | 72,65 |
| 8 | 500 | 0,75 | 90 | 0,75 | 87,45 | 84,63 |
| 9 | 600 | 0,50 | 15 | 0,75 | 95,30 | 93,07 |
| 10 | 600 | 0,75 | 30 | 0,41 | 93,88 | 94,98 |
| 11 | 600 | 1,0 | 60 | 0,18 | 88,07 | 83,40 |
| 12 | 600 | 0,25 | 90 | 1,5 | 35,56 | 47,57 |
| 13 | 700 | 0,25 | 15 | 0,41 | 88,77 | 63,72 |
| 14 | 700 | 1,0 | 30 | 0,75 | 91,87 | 99,00 |
| 15 | 700 | 0,75 | 60 | 1,5 | 65,84 | 61,52 |
| 16 | 700 | 0,50 | 90 | 0,18 | 50,47 | 53,34 |

Таблица 4

Частные уравнения, их R и t_R

| Факторы | Уравнения | R | $t_R > 2$ | Значимость |
|---------------------|---|------|-----------|------------|
| $T, ^\circ\text{C}$ | $Y = -0,0009 T^2 + 1,0839 T - 244,1$ | 0,98 | 37,35 | значима |
| $\tau, \text{мин}$ | $Y = -0,0028 \tau^2 + 0,2049 \tau + 67,372$ | 0,87 | 5,10 | значима |
| $C, \%$ | $Y = -34,652 C + 46,825$ | 0,89 | 5,84 | значима |
| $d, \text{мм}$ | $Y = -62,413 d^2 + 101,33 d + 43,403$ | 0,62 | 3,46 | значима |

их коэффициенты корреляции (R) и значимости (t_R) приведены в табл. 4.

Из рисунка следует, что зависимости выхода магнитной фракции от температуры, продолжительности и концентрации водной эмульсии нефти имеют экстремальный характер, максимумы которых соответствует 600°C , 30 мин, 0,41 мм.

Зависимость выхода магнитной фракции от концентрации эмульсии нефти имеет линейновозрастающий характер, при этом наиболее высокое значение Y соответствует одному проценту.

Поскольку все изученные факторы значимы (табл. 4), обобщенное многофакторное уравнение выхода магнитной фракции (Y_p) имеет следующий вид:
 $Y_p = [-0,0009T^2 + 1,0839T - 244,1]$
 $[-0,0028\tau^2 + 0,2049\tau + 67,372]$
 $[-34,652C + 46,825] [-62,413d^2 +$
 $+ 101,33d + 43,403] / 399556,9$

Расчетные значения Y_p приведены в табл. 3.

Коэффициент нелинейной множественной корреляции обобщенного уравнения R равен 0,75, значимость коэффициента корреляции t_R равна 5,69. Ошибка уравнения составила 9,7 абс. %.

В оптимальных условиях (температура 600°C , концентрация водной эмульсии нефти 1%, продолжительность 60 мин) был проведен контрольный эксперимент с мокрой магнитной сепарацией напряженностью магнитного поля 800э, предварительно измельчив пробу -0,2 мм.

Установлено, что при указанных условиях выход магнитной фракции и извлечение железа составляют соответственно 78,9% и 94,7%. Получен магнитный концентрат с высоким содержанием железа 68,45%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месторождения железа Казахстана. Справочник. – Алматы, 2005. – С. 28–29.
2. Мухтар А.А., Мухымбекова М.К., Нускабеков Ж.С., Макашев А.С., Коровушкин В.В. Исследование влияния термической обработки бурожелезняковой руды Абаилского месторождения на качество получаемых продуктов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 4. – С. 129–133.
3. Татциенко П.А. Подготовка труднобогатимых железных руд – М.: Недра, 1979. – 425 с.
4. Куликов И.С. К вопросу о выборе условий восстановления окислов железа газми в противоточных агрегатах / Новые методы исследования черных металлов. – 1987. – С. 35–41.

5. Батишева Т.А. Магнетизирующий обжиг гидроокисных руд с целью их глубокого обогащения: Авт. реф. канд. дисс. – Ленинград, 1986. – 118 с.
6. Кармазин В.И. Обжигмагнитное обогащение железных руд. – М.: Недра, 1969. – 168 с.
7. Громов М.И., Рыбаков В.Н. Подготовка железорудного сырья к металлургическому переделу. – М.: Наука, 1973. – С. 151–161.
8. Мальшев В.П. Математическое планирование химического и металлургического эксперимента. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 27 с.
9. Сиськов В.И. Корреляционный анализ в экономических исследованиях. – М.: Статистика, 1975. – 120 с. **ПАВБ**

Мухтар Айдархан Ахуанулы – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, зав. лабораторией,
Мухымбекова Майдагуль Конкабаевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
Макашев Ардак Сулушашович – старший научный сотрудник,
Момынбеков Арман Даулетович – инженер,
Нускабеков Жомарт Сагыналиевич – инженер,
Касимова Баян Кульмуханбетовна – инженер,
ХМИ им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан, e-mail: bkosimova@mail.ru.

UDC 622.78:553.26

MAGNETIC ROASTING ENRICHMENT OF ABAIL DEPOSIT LIMONITE ORE

Mukhtar A.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Laboratory,
Mukhymbekova M.K.¹, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher,
Makashev A.S.¹, Senior Researcher,
Momyzbekov A.D.¹, Engineer,
Nuskabekov Zh.S.¹, Engineer,
Kasymova B.K.¹, Engineer,
¹ Chemical and Metallurgical Institute by name of J. Abishev, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: bkosimova@mail.ru.

The process of magnetic roasting of Abail deposit ore using water-oil emulsion investigated by method of mathematical planning of experiments. Obtained magnetic concentrate with iron content of 68.45%.

Key words: limonite ore, magnetic separation, roasting, water-oil emulsion, magnetic enrichment, magnetic concentrate.

REFERENCES

1. Mestorozhdeniya zheleza Kazakhstana. Spravochnik (Iron deposits in Kazakhstan. Reference book), Almaty, 2005, pp. 28–29.
2. Mukhtar A.A., Mukhymbekova M.K., Nuskabekov Zh.S., Makashev A.S., Korovushkin V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 4, pp. 129–133.
3. Tattsienko P.A. *Podgotovka trudnoobogatimyykh zheleznykh rud* (Rebellious iron ore preparation), Moscow, Nedra, 1979, 425 p.
4. Kulikov I.S. *Novye metody issledovaniya chernykh metallov* (New methods of ferrous metal testing), 1987, pp. 35–41.
5. Batisheva T.A. *Magnetiziruyushchiy obzhig gidrookisnykh rud s tsel'yu ikh glubokogo obogashcheniya* (Deep concentration using magnetizing roasting of metal hydroxides), Candidate's thesis, Leningrad, 1986, 118 p.
6. Karmazin V.I. *Obzhigmagnitnoe obogashchenie zheleznykh rud* (Roasting-and-magnetic concentration of iron ore), Moscow, Nedra, 1969, 168 p.
7. Gromov M.I., Rybakov V.N. *Podgotovka zhelezorudnogo syr'ya k metallurgicheskomu peredelu* (Iron ore preparation for metallurgical treatment), Moscow, Nauka, 1973, pp. 151–161.
8. Malyshev V.P. *Matematicheskoe planirovanie khimicheskogo i metallurgicheskogo eksperimenta* (Mathematical planning of chemical and metallurgical experiments), Alma-Ata, Nauka, 1977, 27 p.
9. Sis'kov V.I. *Korrelyatsionnyy analiz v ekonomicheskikh issledovaniyakh* (Correlation analysis in economic research), Moscow, Statistika, 1975, 120 p.

