

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ ТИТАНОМАГNETИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА И ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

© 2017 А. Н. Мамедов, Г. М. Самедзаде, А. М. Гасимова, В. А. Гасымов

*Институт катализа и неорганической химии им. акад. М. Нагиева НАНА, пр. Г. Джавида, 113,
AZ 1143 Баку, Азербайджан
e-mail: asif.mammadov.47@mail.ru*

Поступила в редакцию 05.12.2017 г.

Аннотация. Моделировано формирование гранул из порошков титаномагнетитового концентрата, содержащего до Fe – 54 %, TiO₂ – 7 %, V – 1 % и Mn – 0.8 % масс.доли, с флюсовыми добавками 25 % масс.доли соды. С использованием термодинамических расчетов определены условия восстановления гранул природным газом в фильтрующем слое трубчатой печи при 875–925 °С с получением железного порошка и титановой фракции. Зависимость степени металлизации (μ, %) офлюсованных (25 % Na₂CO₃) гранул титаномагнетитового концентрата от температуры восстановления природным газом при продолжительности восстановления, $t = 30$ мин, скорости подачи природного газа $v = 0.1$ л/мин и при объеме природного газа прошедшего на восстановление $V = 0.6$ м³/кг аппроксимирована полиномом:

$$\mu = 14.933 \cdot 10^{-6} T^3 - 0.043 T^2 + 41.222 T - 13042.$$

Ключевые слова: титаномагнетитовый концентрат, моделирование гранулообразования, железный порошок.

ВВЕДЕНИЕ

Титаномагнетиты представляют собой смесь главным образом двух минералов: ильменита FeTiO₃ и магнетита Fe₃O₄ с примесями ванадия и хрома. С использованием мокрой магнитной сепарации из титаномагнетитовых песчаников получают титаномагнетитовые концентраты [1, 2]. Исследования по технологии переработки титаномагнетитовых концентратов для выделения железа, титана, хрома, ванадия и др. продуктов проводятся в течение несколько десятков лет [3, 4].

В зависимости от соотношения рудных и нерудных минералов химический состав титаномагнетитовых песчаников различных месторождения изменяется в широких пределах. Так, в составе различных проб песчаников Азербайджана нами обнаружено [2]: Fe_{общ} – в пределах 6–12 %, иногда до 22–38.5 %; TiO₂ – в пределах 0.7–1.7 %, иногда до 3.2–5.9 %; Mn – до 0.5–0.7 %; V – до 0.3–0.5 %; Cr – 0.01–0.1 %; Al₂O₃ – 10–18 %; SiO₂ – 23–60 %; CaO – 5–10 %; MgO – 4–6 %; P₂O₅ – 0.1–0.3 %; SO₃ – 0.07–0.2 %; CoO – 0.005–0.01 % масс.доли. Обогащением титаномагнетитовых песчаников получают титаномагнетитовые концентраты, в которых общее содержание железа, титана, ванадия и мар-

ганца достигает: Fe_{общ} – 54 %; TiO₂ – 7 %; V – 1 % и Mn – 0,8 % масс.доли. Титаномагнетитовые концентраты, полученные из различных месторождений, помимо содержания целевых компонентов существенно отличаются по физико-химическим свойствам и, следовательно, по условиям восстановления окатышей. В известных методах [1, 3–6] процесс металлизации продуктов восстановления проводится при высоких температурах (выше 1500 °С) для плавления и коагуляции металлического железа и образования титанованадиевого шлака.

Целью этой работы является моделирование формирования гранул из порошков титаномагнетитового концентрата (Fe_{общ} – 54 %; TiO₂ – 7 %; V – 1 % и Mn – 0.8 % масс. доли) и установление условий восстановления гранул природным газом в фильтрующем слое трубчатой печи при относительно низких температурах для получения железа.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНУЛ

Гранулы для проведения восстановительных реакций получили из порошков (с диаметром 0.1–0.15 мм) титаномагнетитового суперконцентрата.

Фазовый состав исходных офлюсованных с Na_2CO_3 гранул титаномагнетитового суперконцентрата определен РФА с использованием порошкового рентгеновского дифрактометра D2 Phaser (Bruker) (рис. 1). Из рис. 1 следует, что суперконцентрат в основном состоит из титаномагнетита. При формировании офлюсованных с Na_2CO_3 гранул в качестве связующего вещества используется вода. Поэтому часть соды в реакции с водой образует гидрокарбонат NaHCO_3 .

В барабанных аппаратах формирование и рост гранул определяется скоростью гранулообразования и скоростью уплотнения гранул под действием внешних напряжений. Различные модели и механизмы уплотнения гранул под действием внешних деформирующих напряжений как рыхлой среды, в том числе и дислокационный механизм уплотнения гранулы, приведены в работах [7, 8]. Общее решение задачи формирования (наслаивание и уплотнение) гранул в барабанном аппарате можно представить в виде:

$$a(t) = (a_0^2 + \gamma t)^{1/2} + a_0 \exp(-b_0 t) \sin\left(\frac{\nu t}{2}\right). \quad (1)$$

Здесь $\gamma = \frac{2R\omega\lambda}{\pi}$; a – текущий размер гранулы; a_0 – средний размер зародыша (порошка); b_0 – параметр, связанный с плотностью частиц порошко-

образного материала; t – время гранулообразования; R – радиус барабанного аппарата; λ – толщина наслаивания; ω – частота вращения барабанного аппарата; ν – характеристическое число, зависящее от сдвиговой вязкости. На рис. 2 представлен характер формирования гранулы в результате наслаивания и уплотнения частиц порошкообразного материала.

Процесс формирования гранул носит волновой характер, который определяется чередованием процессов наслаивания и роста размера и уменьшением размера в результате их уплотнения. Наслаивание порошка на поверхность гранулы является следствием ее уплотнения. Это связано тем, что в результате уплотнения и сжатия связующее вещество, содержащееся в порах, выдавливается к поверхности, что увеличивает возможность и вероятность дальнейшего налипания сухих частиц порошка. Дальнейший рост и завершенность формы гранулы определяется распределением концентрации связующего вещества в объеме гранулы, т.е. влагосодержанием или влажностью поверхности гранулы.

На основе решения уравнения Фоккера–Планка [8] с использованием экспериментальных данных определили эволюцию функции распределения гранул по размерам по длине барабанного аппарата (рис. 3). Кривые распределения дают кар-

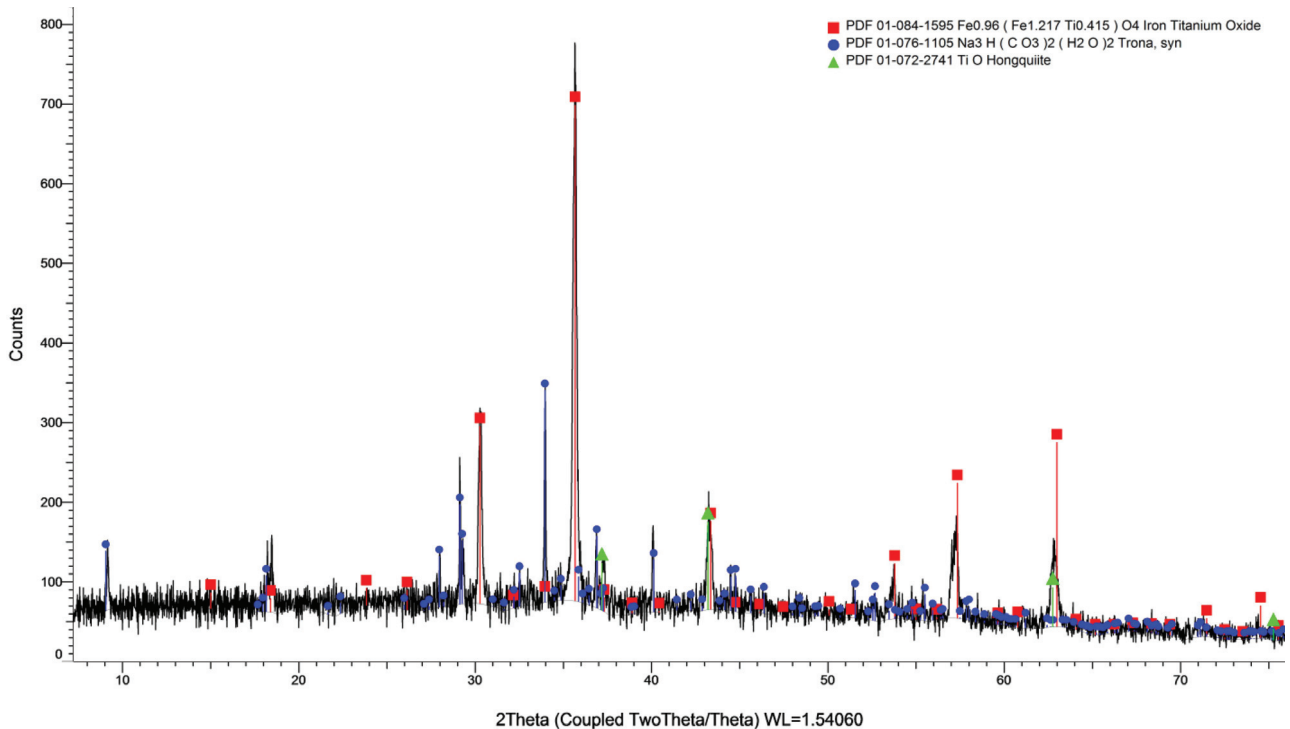


Рис. 1. Дифрактограмма для офлюсованного с содой супертитаномагнетитового концентрата:
[Fig. 1. The XRD of super titanomagnetite concentrate fluxed with soda]

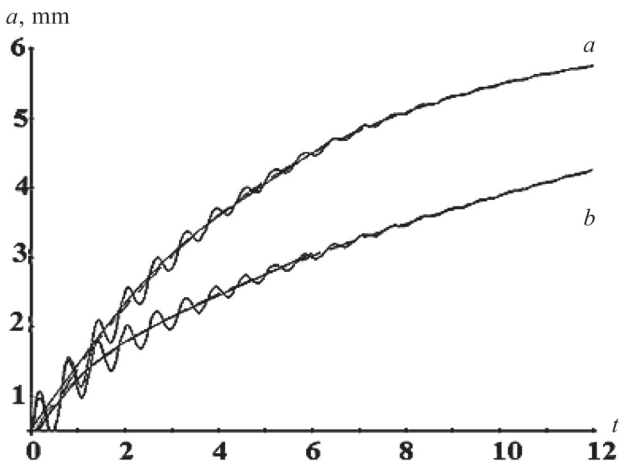


Рис. 2. Изменение размеров гранул в результате наслаивания порошка и уплотнения при различных значениях γ в уравнение 1: $\gamma = 2$ (a); $\gamma = 2.5$ (b)

[Fig. 2. Change in the size of the granules as a result of layering powder and density at different values γ in the equation 1: $\gamma = 2$ (a); $\gamma = 2.5$ (b)]

тину количественного изменения размеров гранул в каждом сечении по длине барабанного аппарата, что необходимо для его проектирования.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ РЕАКЦИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРАНУЛ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

Для определения оптимального температурного интервала получения железа рассчитывали температурные зависимости свободной энергии Гиббса реакций восстановления гранул титаномагнетитового концентрата природным газом. Использовано уравнение, успешно апробированное в работах [9–11]:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 - \Delta c_{p,298}^0 T [\ln(T/298) + (298/T)] + RT \ln K_{p,T},$$

где ΔG_T^0 , ΔH_{298}^0 и ΔS_{298}^0 – стандартные свободные энергии, энтальпии и энтропии для реакций (2–15); $\Delta c_{p,298}^0$ – изменение молярной изобарной теплоемкости веществ в реакциях, $K_{p,T}$ – константа равновесия реакции для газообразных веществ. Термодинамические функции образования соединений и простых веществ, участвующих в реакциях, заимствованы из справочников [12, 13]. Последним слагаемым можно пренебречь, так как реакция протекает в проточной неравновесной системе при непрерывном удалении продуктов реакции. Учет теплоемкости вносит поправку значения температуры в пределах 10–15°. При пониженных темпе-

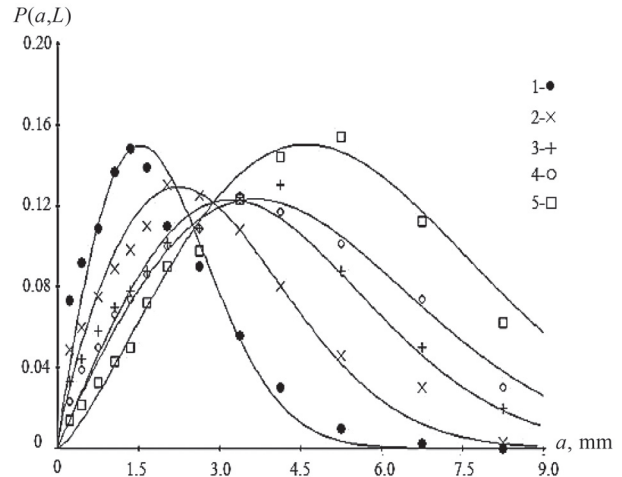
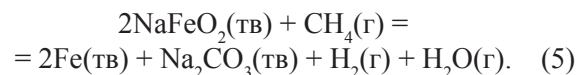
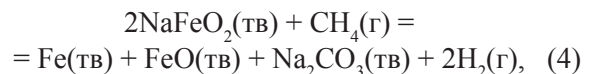
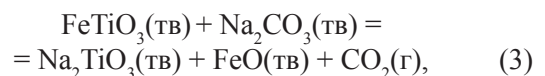
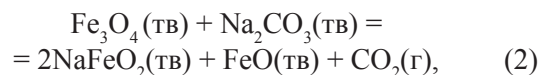


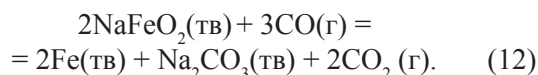
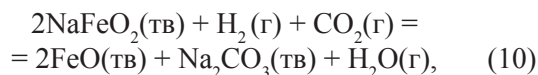
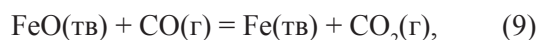
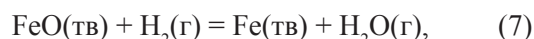
Рис. 3. Эволюция функции распределения гранул по длине барабанного гранулятора: 1 – $L = 10$ см; 2 – $L = 20$ см; 3 – $L = 40$ см; 4 – $L = 60$ см; 5 – $L = 80$ см

[Fig. 3. Evolution of the the granules distribution function on the length of the drum granulator: 1 – $L = 10$ cm; 2 – $L = 20$ cm; 3 – $L = 40$ cm; 4 – $L = 60$ cm; 5 – $L = 80$ cm]

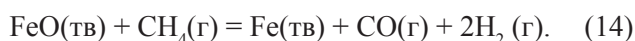
ратурах восстановление железа природным газом в присутствии соды протекает через феррит натрия и оксид железа (II). Уже при 500–550 °С магнетит (титаномагнетитовый концентрат) начинает взаимодействовать с содой с получением феррита (III) натрия. С повышением температуры до 800–850 °С реакция протекает с большой скоростью, образующийся феррит натрия восстанавливается до металла с регенерацией соды и, таким образом, ферритообразование выступает как переходный процесс в каталитическом действии соды на металлизацию магнетита:



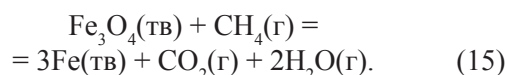
Титанат натрия, полученный по реакции (3), переходит в немагнитную фазу. Метан частично подвергается термическому распаду, а также конверсии с продуктами восстановления – водяным паром и диоксидом углерода. Образующиеся вторичные восстановители водород и СО также восстанавливают магнетит и промежуточные продукты FeO и NaFeO₂ до металла:



При более высоких оптимальных температурах преимущественно происходит непосредственное восстановление магнетита через вюстит до металла:



Обобщенное уравнение реакции восстановления магнетита имеет вид:



Из рис. 4 следует, что реакция (15) при сравнительно низких температурах протекает очень слабо. Равновесие в реакции (15) смещается в правую сторону, начиная с 1010 К ($\Delta G_T^0 < 0$). В то же время, отрицательные значения свободной энергии Гиббса для реакций восстановления оксида железа (II) водородом (реакция 7), восстановления феррита натрия водородом (10), монооксидом углерода (8, 11, 12) с повышением температуры сменяются положительными значениями. Однако в проточной неравновесной системе непрерывное удаление из зоны продуктов реакции способствует постоянному смещению равновесия вправо. Таким образом, термодинамические расчеты показали, что при температурах 1100–1200 К большинство реакций восстановления гранул природным газом завершаются получением железа.

ПРЯМОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОФЛЮСОВАННЫХ ГРАНУЛ ТИТАНОМАГNETИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Офлюсованные с добавлением 25 масс.% соды гранулы размерами 3–7 мм восстанавливали природным газом в горизонтальной трубчатой печи в температурном интервале 850–1000 °С. Реактор и вся система до подачи природного газа продувались азотом. Использование гранул позволяет обеспечить равномерное распределение газового

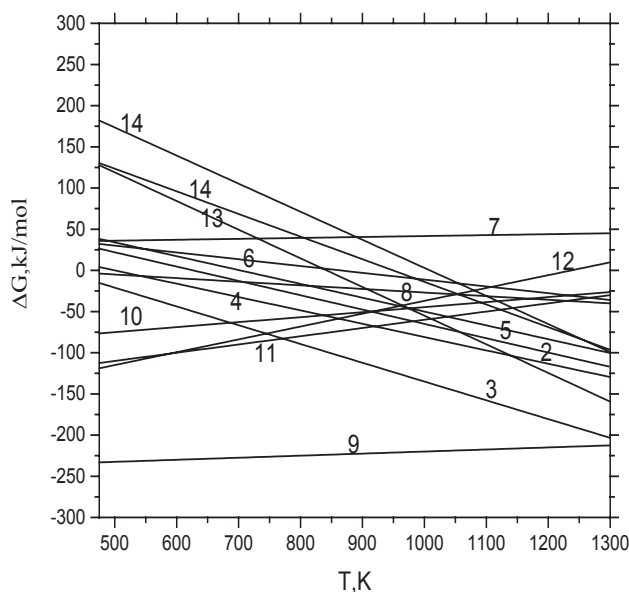


Рис. 4. Зависимости свободной энергии Гиббса реакций (2–15) от температуры

[Fig. 4. Dependencies of the Gibbs free energy of reactions (2–15) on the temperature]

потока внутри реактора и газопроницаемость восстанавливаемых гранул, устраняет пылеунос тонких фракций и слипание восстанавливаемого материала. Некоторые результаты восстановления офлюсованных гранул титаномагнетитового концентрата при изменяемых температурах и продолжительности восстановления представлены в таблице. Как видно из таблицы с увеличением температуры восстановления степень металлизации железа возрастает, и при 900–925 °С отмечается максимальная металлизация (98.5–98.7 %). С дальнейшим увеличением температуры до 1000 °С степень металлизации незначительно падает до 94.7 %. Это объясняется тем, что восстановленные частички металлического железа на поверхности окатыша слипаются, образуют корку и затрудняют диффузию природного газа внутрь окатыша, тормозят его полное восстановление. Эти нежелательные явления практически отсутствуют в интервале температур 875–925 °С.

Зависимость степени металлизации (μ , %) офлюсованных (25 % Na_2CO_3) гранул титаномагнетитового концентрата от температуры восстановления природным газом при продолжительности восстановления $t = 30$ мин, скорости подачи природного газа $v = 0.1$ л/мин и при объеме природного газа, пошедшего на восстановление, $V = 0.6$ м³/кг моделирована полиномом:

$$\mu = 14.933 \cdot 10^{-6} T^3 - 0.043 T^2 + 41.222 T - 13042.$$

Зависимость степени металлизации (μ , %) офлюсованных (25 % масс. доля Na_2CO_3) окатышей титаномагнетитового концентрата от продолжительности восстановления (t) природным газом при температуре 900 °С, скорости подачи природного газа $v = 0.1$ л/мин и при объеме природного газа, пошедшего на восстановление, $V = 0.6$ м³/кг моделирована полиномом:

$$\mu = -0.2417 \cdot 10^{-4}t^4 + 0.0041t^3 - 0.2508t^2 + 6.6263t + 35.$$

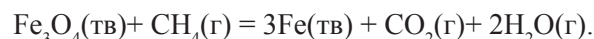
Из таблицы и вышеприведенных полиномов следует, что с увеличением продолжительности восстановления при скорости подачи природного газа 0.1 л/мин и температуре 925 °С уже через 20 мин степень металлизации железа достигает 98 %. При дальнейшем росте продолжительности восстановления до 1 часа степень металлизации железа держится на максимальном уровне 98.8 % при 900 °С. Однако излишнее увеличение продолжительности процесса нежелательно, и за оптимальную продолжительность процесса принимаем 30 минут, когда при оптимальных температурах 875–925 °С, скорости природного газа 0.1 л/мин, степень металлизации офлюсованных гранул титаномагнетитового концентрата достигает 96.5–98.5 % при отсутствии науглероженности и слипания металлизированных окатышей.

В работе определены условия обработки восстановленных окатышей для разделения металлического железа от полититанатов и других примесей, выявлены условия размельчения металлизированных окатышей под слоем воды, условия горячего выщелачивания пульпы и мокрой магнитной

сепарации с получением кондиционного железного порошка с содержанием $\text{Fe}_{\text{мет}}$ – 98 % (рис. 5). Изучение физико-химических и технологических свойств полученных порошков, химического и гранулометрического составов, формы и структуры, насыпной плотности и текучести показало, что по действующим нормам они соответствуют высокой марке ПЖ-3, обладают пассивированной поверхностью и стабильны к окислению при длительном хранении.

ВЫВОДЫ

На основании реологической модели и эволюционной функции распределения гранул по длине барабанного гранулятора получены офлюсованные гранулы титаномагнетитового концентрата с требуемой плотностью, прочностью и влажностью. С использованием термодинамических функций образования соединений определены температурные зависимости свободной энергии Гиббса реакций восстановления гранул титаномагнетитового концентрата природным газом. Выявлено, что обобщенным уравнением реакции восстановления магнетита имеет вид:



Для восстановления гранул титаномагнетитового концентрата природным газом в фильтрующем слое горизонтального реактора лабораторной трубчатой печи были установлены следующие оптимальные условия: $T = 875 \div 925$ °С, продолжительность процесса $t = 30$ минут, скорость природного газа – 0.1 л/мин, при расходе – 0.6 м³/кг. При таких условиях степень металлизации офлюсован-

Таблица. Восстановление офлюсованных с добавками 25 % Na_2CO_3 гранул (5 г) титаномагнетитовых концентратов песчаников природным газом при скорости подачи газа 0.1 л/мин

[Table. Recovery the fluxed with additives 25% Na_2CO_3 granules (5 g) of titanium magnetite sands concentrates with natural gas at a space velocity of 0.1 liter/min]

Темп. восст. T , °С [Reduction temperature T , °C]	Время восстан. t , мин [Recovery time t , min]	Объем природн. газа для восст, л [Volume of natural gas for recovery, liter]	Fe %	Степень восстан. железа, μ , % [Extent of iron reduction, μ , %]
850	30	3	45.38	84.2
850	40	4	47.05	87.3
875	30	3	52.05	96.5
900	10	1	43.12	80.0
900	20	2	51.80	96.1
900	30	3	53.09	98.5
925	20	2	52.88	98.1
900	60	6	53.25	98.8
925	40	4	53.20	98.7
1000	30	3	51.04	94.7

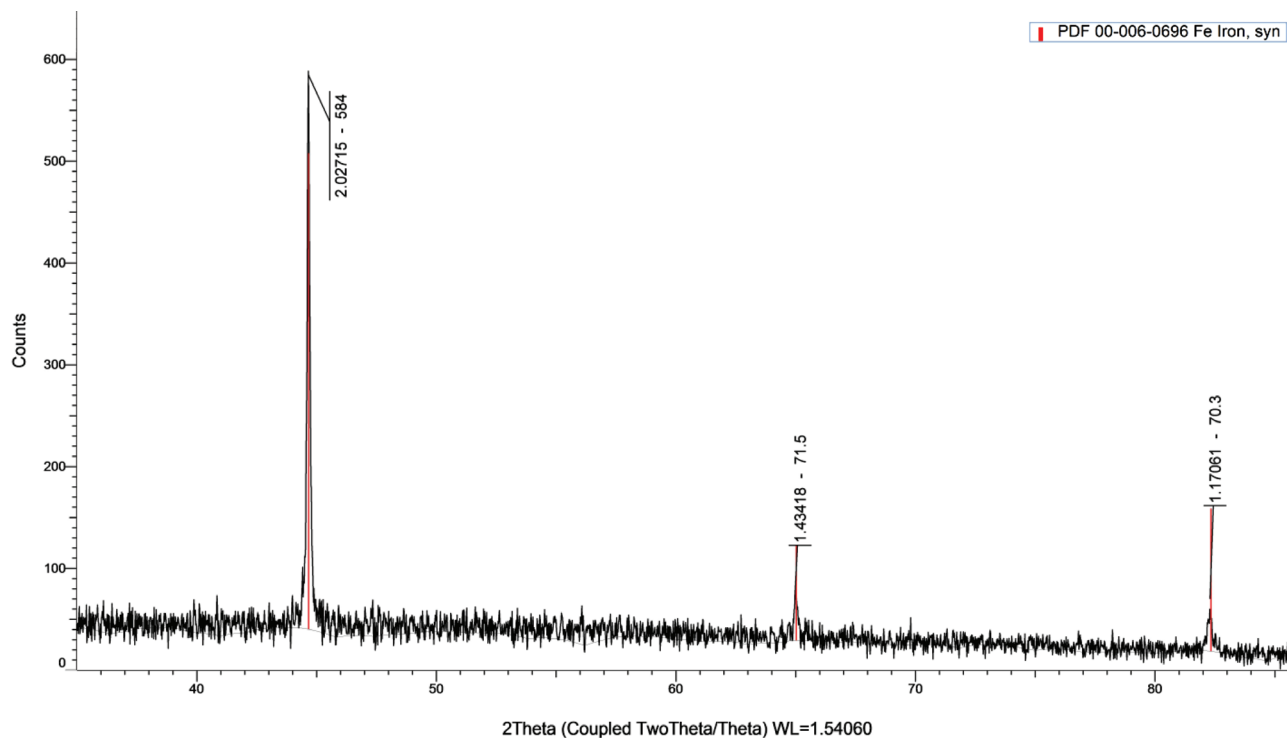


Рис. 5. Дифрактограмма железного порошка, полученного из титаномagnetитового концентрата с содержанием Fe(мет)–98 %

[**Fig. 5.** The XRD pattern of iron powder obtained from a titanomagnetite concentrate with a Fe(met) content of 98 %]

ных гранул титаномagnetитового концентрата достигает 96.5–98.5 % массы Fe.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резниченко В. А., Садыхов Г. Б., Карязин И.А. // *Металлы*, 1997, № 6, с. 3–7.
2. Ализаде З. И., Микаилова А. М., Самедзаде К. М. и др. // *Азерб. хим. журнал*, 2008, № 4, с. 64–67.
3. Резниченко В. А., Шабалин Л. И. *Титаномagnetиты, месторождения, металлургия, химическая технология*. М.: Наука, 1986, 290 с.
4. Jena B. C., Dresler W., Reilly I. G. // *Minerals Engineering*, 1995, vol. 8, № 1–2, pp. 159–168.
5. Смирнов Л. А., Кушнарв А. В. // *Черная металлургия*, 2013, № 5, с. 3–21.
6. Макаров Ю. В., Садыхов Г. Б., Самойлова Г. Г., Мизин В. Г. Патент РФ № 2399680. МПК C21B13/08 (2006.01).
7. Першин В. Ф., Однолько В. Г., Першина С. В. *Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа*. М.: Машиностроение, 2009, 225 с.
8. Келбалиев Г. И., Самедли В. М., Самедов М. М. // *Теоретические основы химической технологии*, 2011, т. 45, № 5, с. 571–577.
9. Asadov M. M., Mustafaeva S. N., Tagiev D. B., Mammadov A. N. // *Cambridge Journals, MRS Online Proceeding Library*, 2015, vol. 1766.
10. Асадов С. М., Мамедов А. Н., Кулиева С. А. // *Неорг. материалы*, 2016, т. 52, № 9, с. 942–951.
11. Asadov M. M., Mammadov A. N., Tagiev D. B., Akhmedova N. A. // *MRS Online Proceedings Library*, 2015, vol. 1765.
12. Iorish V. S., Yungman V. S. (Eds.). *Date Base of Thermal Constants of Substances*. 2006.
13. *PURE 4.4 SGTE Pure Elements (Unary) Database, Scientific Group Thermodata Europe*. 1991–2006.

MODELLING OF THE GRANULATION OF POWDER TITANIUM MAGNETITE CONCENTRATE AND ITS REDUCTION WITH NATURAL GAS

© 2017 A. N. Mamedov, G. M. Samedzade, A. M. Gasimova, V. A. Gasimov

Nagiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry ANAS, 113 G. Javid av., AZ 1134, Baku, Azerbaijan
e-mail: asif.mammadov.47@mail.ru

Received 05.12.2017

Abstract: The granulation of titanium magnetite concentrate containing up to Fe – mass fraction 54 %, TiO₂ – 7 %, V – and 1 % Mn – 0.8 %, with 25 % mass fraction fluxing additives soda has been modelled. The process of granulation and direct reduction of titanium magnetite concentrate with natural gas in the filter layer of tube furnace to obtain the iron powder and titanium fraction have been modelled. The construction of a complex model of titanium magnetite granule formation of powdered materials in drum granulators taking into account the anisotropy the structure and laminating on the surface is considered. It has been noted that granule formation proceeds in some stages depending on the relaxation time of embryo formation. Based on this model a graphic interpretation of the process laminating powder on the surface is cited. The rheological model of the compaction of granules under the action of external deformation stresses allows estimate the change of porosity and density is presented. The comparison of calculation and experimental results for the evolution of the distribution of granules on the sizes has been presented. The temperature dependence of the Gibbs free energy of reduction reactions was calculated.

The dependence of metallization degree (μ , %, mass fraction) of fluxed (25 % Na₂CO₃) pellets of titanium magnetite concentrate on the natural gas recovery temperature during the recovery duration, $t = 30$ min., flow rate of natural gas $v = 0.1$ l/min and the amount of natural gas for recovery $V = 0.6$ m³/kg is approximated with the polynomial $\mu = 14.933 \cdot 10^{-6} T^5 - 0.043 T^2 + 41.222 T - 13042$.

The dependence of metallization degree of the fluxed pellets of titan-magnetite concentrate of sandstones on recovery duration (t) with natural gas at 900 °C, flow rate of natural gas $v = 0.1$ l/min and amount of natural gas for recovery $V = 0.6$ m³/kg is approximated with the polynomial $\mu = -0.2417 \cdot 10^{-4} t^4 + 0.0041 t^3 - 0.2508 t^2 + 6.6263 t + 35$.

Thus, to recover pellets of titanium magnetite concentrate with natural gas in the filter bed of the horizontal reactor of a laboratory tube furnace when using fluxed pellets of 3–7 mm the following optimal conditions were established: $T = 875\text{--}925$ °C, process duration $\tau = 30$ minutes, natural gas rate – 0.1 l/min. and at gas amount – 0.6 m³/kg. Under these conditions the metallization degree of fluxed pellets of titanium magnetite concentrate reaches 97–98.5 % and the carbonization, caking and sintering of recovered pellets is avoided.

Keywords: titanium magnetite concentrate, modelling of granulation, iron powder.

REFERENCES

1. Reznichenko V. A., Sadykhov G. B., Karyazin I. A. *Metally*, 1997, no. 6, pp. 3–7. (in Russian)
2. Alizade Z. I., Mikailova A. M., Samedzade K. M. *Azerb. khim. Zhurnal*, 2008, no. 4, pp. 64–67.
3. Reznichenko V. A., SHabalin L. I. *Titanomagnetity, Oilfield, Metallurgy, Chemical Engineering*. Moscow, Nauka, 1986, 290 p. (in Russian)
4. Jena B. C., Dresler W., Reilly I. G. *Minerals Engineering*, 1995, vol. 8, no. 1–2, pp. 159–168.
5. Smirnov L. A., Kushnarev A. V. *Ferrous Metallurgy*, 2013, no. 5, pp. 3–21. (in Russian)
6. Makarov Yu. V., Sadykhov G. B., Samoylova G. G., Mizin V. G. Patent RF no. 2399680. 2006.
7. Pershin V. F., Odnol'ko V. G., Pershina S. V. *Processing of Bulk Materials in Drum-type Machines*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009, 225 p. (in Russian)
8. Kelbaliev G. I., Samedli V. M., Samedov M. M. *Theoretical Foundation of Chemical Engineering*, 2011, vol. 45, no. 5, pp. 660–666. DOI: 10.1134/S0040579511040051
9. Asadov M. M., Mustafaeva S. N., Tagiev D. B., Mammadov A. N. *Cambridge Journals. MRS Online Proceeding Library*, 2015, vol. 1766. DOI:10.1557/opl.2015.419
10. Asadov S. M., Mamedov A. N., Kulieva S. A. *Inorganic Materials*, 2016, vol. 52, no. 9, pp. 876–885. DOI: 10.1134/S0020168516090016

11. Asadov M. M., Mammadov A. N., Tagiev D. B., Akhmedova N. A. *MRS Online Proceedings Library*, 2015, vol. 1765. DOI: 10.1557/opl.2015.816. Published online by Cambridge University Press 01 Oct 2015. 6 p.

12. Iorish V. S., Yungman V. S. (Eds.). *Date Base of Thermal Constants of Substances*. 2006. Available at: <http://www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv> (Digital Version)

13. *PURE 4.4 SGTE Pure Elements (Unary) Database. Scientific Group Thermodata Europe*. 1991–2006.

Мамедов Асиф Насиб оглу – д. х. н., профессор, заведующей лабораторией, Институт катализа и неорганической химии им. акад. М. Нагиева НАН Азербайджана (ИКНХ НАНА); тел.: +9(945) 03372845, e-mail: asif.mammadov.47@mail.ru

Самедзаде Гасым Муса оглу – к. х. н., с. н. с., Институт катализа и неорганической химии им. акад. М. Нагиева НАН Азербайджана (ИКНХ НАНА); тел.: +9(945) 03888206, e-mail: ifs@live.ru

Гасымова Афариды Мазахир гызы – н. с., Институт катализа и неорганической химии им. акад. М. Нагиева НАН Азербайджана (ИКНХ НАНА); тел.: +9(945) 52204342, e-mail: qasimova_1982@list.ru

Гасымов Вагиф Акбер оглу – к. х. н., заведующий отделом, Институт катализа и неорганической химии им. акад. М. Нагиева НАН Азербайджана (ИКНХ НАНА); тел.: +9(945) 57154780, e-mail: v-gasymov@rambler.ru

Mamedov Asif Nasib ogly – Dr. Sci. (Chem.), Full Professor, Head of the Laboratory, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M. Nagiyev of ANAS; ph.: +9(945) 03372845, e-mail: asif.mammadov.47@mail.ru

Samedzade Gasym Musa ogly – Cand. Sci. (Chem.), Leading Researcher, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M. Nagiyev of ANAS; e-mail: ifs@live.ru

Gasymova Afarida Mazahir qizi – Researcher, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M. Nagiyev of ANAS; e-mail: qasimova_1982@list.ru

Gasymov Vaqif Akber ogly – Cand. Sci. (Chem.), Assistant Professor, Head of Department, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M. Nagiyev of ANAS; ph.: +9(945) 57154780, e-mail: v-gasymov@rambler.ru