

УДК 669.162.1.669.046

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В АГЛОПРОЦЕССЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Малышева Т.Я., к. г.-м. н., профессор кафедры «Энергоэффективные ресурсосберегающие
промышленные технологии»*

*Писарев С.А., аспирант кафедры «Энергоэффективные ресурсосберегающие
промышленные технологии» (labbor408@mail.ru)*

Макавецкас А.Р., ведущий инженер Центра РТПМС НИТУ «МИСиС»

Фищенко Ю.Ю., инженер 1 категории Центра РТПМС НИТУ «МИСиС»

**Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)**

Аннотация. В последнее время востребованность железорудных концентратов руд Ковдорского месторождения сохраняется, несмотря на сложность их использования для производства техногенного сырья. Магнетит ковдорских руд имеет гетерогенное строение и его железо не участвует в процессах расплавообразования при спекании агломератов. Поэтому вплоть до основности 2,0 связкой рудных зерен готового продукта является силикатная стеклофаза. С ростом основности выше 2,0 минеральный состав и микроструктура агломератов меняются. Магнетит окисляется до гематита, на контакте гематита с высококальциевым расплавом появляется алюмосиликоферрит, остаточный расплав раскристаллизовывается с образованием титаносодержащего силиката.

Ключевые слова: агломерация, концентрат, фаза, основность, руда, магнетит, структура.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-5-413-415

Методом электронной микроскопии установлены структурные особенности кристаллов магнетита различных магматических месторождений. Структура кристаллов гомогенного строения близка к стехиометрии. В магнетитах гетерогенного строения изоморфные примеси присутствуют в виде шпинельных микрофаз [1, 2].

Проведенный сравнительный анализ промышленных агломератов с использованием в агломерационной шихте руд с магнетитами гомогенного и гетерогенного строения свидетельствуют об их различном влиянии на направление расплавообразования при спекании аглошихты. Магнетиты железных руд месторождения Ковдор имеют гетерогенное строение.

Востребованность ковдорского железорудного концентрата для производства техногенного сырья при недостаточной его изученности в агломерационном процессе позволила провести спекания на аглошихте, целиком состоящей из ковдорского железорудного концентрата, химический состав которого приведен ниже, % (по массе):

Fe _{общ}	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P
63,5	5,0	1,3	0,7	2,7	1,1	0,02	0,04	0,05

Спекания офлюсованных агломератов в шихте с одним ковдорским концентратом в интервале основности CaO/SiO₂ от 1,2 до 3,0 были проведены в лаборатор-

ных условиях Центральной испытательной станции ПАО «Северсталь». Агломерационная шихта, помимо ковдорского концентрата, содержала в своем составе известь, собственный отсев, возврат, шлаковую смесь, известковую пыль и коксовую мелочь. Для всех спеканий были характерны следующие показатели: высота слоя без постели 380 мм, продолжительность спекания от 25 до 30 мин, скорость спекания от 12,5 до 15,66 мм/мин.

Для анализа минералогического состава и структурных особенностей спеченных агломератов отбирались пробы середины и низа агломерационного пирога, где взаимодействие компонентов шихты было максимальным. Особое внимание было обращено на механизм формирования и минеральный состав силикатных связей – носителей прочности агломератов.

Установлено, что в изученном интервале основности CaO/SiO₂ агломератов (от 1,2 до 3,0) существуют две разные структурно-минеральные техногенные композиции, в составе которых магнетит имеет практически одинаковый состав, % (по массе): 63,2 Fe; 5,5 MgO; 2,5 Al₂O₃ и 1,0 TiO₂. Внутри этой композиции четко выделяются две группы агломератов, отличающихся по направлению расплавообразования, минеральному составу и прочности конечного продукта.

Группа агломератов основности 1,2 – 2,0 представляет собой двухфазную систему магнетит – стеклофаза. Сложная по составу силикатная стеклофаза представлена шлаковыми компонентами при минимальном со-

держании железа. Ее химический состав в пределах изучаемой основности практически не меняется. В составе стеклофазы обнаружено, % (по массе): 35,0 CaO; 25,0 SiO₂; 4,0 Al₂O₃; 1,0 MgO; 10,0 TiO₂; 2,0 P₂O₅; 12,0 Fe. Основность самой силикатной связи не превышает 1,2 – 1,3. Низкое содержание в составе силикатной связи железа и магния свидетельствует о том, что магнетит ковдорского концентрата в процессе расплавообразования практически не участвует. Пересчет химического состава стеклофазы на минеральный свидетельствует о ее близости к группе силикатов мелилитового состава, осложненных наличием в них твердых растворов [3].

В следующей группе, при повышении основности агломератов выше 2,0, основность силикатной связи возрастает до 1,6. В ее составе увеличивается содержание CaO до 40 % при сохранении прежнего количества SiO₂ и резком падении содержания TiO₂ от 10 % в составе стеклофазы предыдущей группы агломератов до 4 %. С ростом основности шихты, вплоть до изученной 3,0, меняется направление минералообразования в рудной и силикатной частях системы, при этом четко прослеживается порядок минералообразования при охлаждении расплава. С ростом парциального давления кислорода в системе с повышенной основностью поверхность магнетитовых зерен окисляется до гематита. На границе новообразований гематита с высококальциевым силикатным расплавом появляются пластинчатые кристаллы алюмосиликоферрита. В его составе, помимо Fe₂O₃, CaO и Al₂O₃, в виде твердого раствора присутствуют MgO, SiO₂ и TiO₂. По расчету ферритная фаза точно соответствует своему составу в группе минералов техногенного сырья [4, 5].

Вслед за кристаллизацией алюмосиликоферрита, в составе остаточного силикатного расплава появляются мельчайшие дендритные образования силикатной фазы с 20 % TiO₂. Дендритная форма кристаллизации пока не дает возможности установить ее точный состав и принадлежность фазы к определенной группе минералов. Кроме того, минеральный состав и структура агломерационных спеков основности выше 2,0 не позволяет точно определить их принадлежность к типу техногенного сырья.

Характер изменения прочности агломератов в интервале основности 1,2 – 3,0 подчеркивает индивидуальность каждой из изученных групп. Одинаковый показатель прочности имеют агломераты первой группы, представляющие в интервале основности 1,2 – 2,0 систему магнетит – силикатная стеклофаза. Повышение прочности происходит во второй группе агломератов с основностью выше 2,0. В их составе, наряду со стеклофазой, носителями прочности готовой продукции становятся кристаллы алюмосиликоферрита.

Выводы. Исследованы особенности поведения в агломерационном процессе железорудного концентрата руд Ковдорского месторождения, в составе которого магнетит имеет гетерогенное строение.

Установлено, что в интервале основности 1,2 – 3,0, при спекании агломерационной шихты с магнетитовым ковдорским концентратом, образуются два типа техногенных продуктов.

При основности 1,2 – 2,0 формируется агломерат в виде двухфазной системы магнетит – силикатная стеклофаза. Агломераты имеют одинаковый минеральный состав, микроструктуру и холодную прочность.

При основности выше 2,0 в составе магнетито-гематитового спека появляются кристаллы алюмосиликоферрита, в остаточном расплаве – дендриты силикатной фазы. Причиной роста прочности спеков является появление в связке алюмосиликоферрита.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гайдук В.С. Электронная микроскопия для решения практических геолого-минералогических задач. – М.: Недра, 1983. – 225 с.
2. Чернышева Л.В., Смелянская Г.А., Зайцева Г.М. Типоморфизм магнетита и его использование при поисках и оценке рудных месторождений. – М.: Недра, 1981. – 231 с.
3. Винчелл А.Н., Винчелл Г.В. Оптические свойства искусственных минералов. – М.: Мир, 1967. – 525 с.
4. Малышева Т.Я., Лядова И.Я., Модель М.С. Алюмосиликоферрит кальция из железорудного сырья. – М.: Деп. в ВИНТИ. 1973. № 6641.
5. Модель М.С., Лядова И.Я., Чугунова Н.В. Ферритообразование в железорудном сырье. – М.: Наука, 1990. – 150 с.

Поступила 3 апреля 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. Vol. 61. No. 5, pp. 413–415.

ON THE USE OF KOVDOR IRON ORE IN SINTERING PROCESS

*T.Ya. Malysheva, S.A. Pisarev, A.R. Makavetskias,
Yu. Yu. Fishchenko*

National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS),
Moscow, Russia

Abstract. Recently, the demand for iron ore concentrates of the Kovdor deposit has been maintained, despite the complexity of their use for the production of man-made raw materials. Magnetite of Kovdor ore has a heterogeneous

structure and its iron does not participate in melt formation processes during sintering of agglomerates. Therefore, up to the basicity of 2.0, a silicate glass phase is a binder of ore grains of the finished product. With the increase in basicity above 2.0, the mineral composition and microstructure of the agglomerates change. Magnetite is oxidized to hematite, an alumino-siliciferite appears on the hematite contact with the high-calcium melt, the residual melt crystallizes to form a titanium-containing silicate.

Keywords: sintering process, concentrate, phase, basicity, ore, magnetite, structure.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-5-413-415

REFERENCES

1. Gaidukova V.S. *Elektronnaya mikroskopiya dlya resheniya prakticheskikh geologo-mineralogicheskikh zadach* [Electron microscopy for solving practical geological and mineralogical problems]. Moscow: Nedra, 1983, 225 p. (In Russ.).
2. Chernysheva L.V., Smelyanskaya G.A., Zaitseva G.M. *Tipomorfizm magnetita i ego ispol'zovanie pri poiskakh i otsenke rudnykh mestorozhdenii* [Typomorphism of magnetite and its use in prospecting and evaluation of ore deposits]. Moscow: Nedra, 1981, 231 p. (In Russ.).
3. Winchell A.N., Winchell H. *The microscopical characters of artificial inorganic solid substances: optical properties of artificial minerals*. New York & London, Academic Press, 1964. (Russ.ed.: Winchell A.N., Winchell H. *Opticheskie svoystva iskusstvennykh mineralov*. Moscow: Mir, 1967, 525 p.).
4. Malysheva T.Ya., Lyadova I.Ya., Model' M.S. *Alyumosilikoferrit kal'tsiya iz zhelezorudnogo syr'ya* [Aluminum silicoferrite from iron ore]. Moscow: Dep. VINITI, 1973, no. 6641. (In Russ.).
5. Model' M.S., Lyadova I.Ya., Chugunova N.V. *Ferritoobrazovanie v zhelezorudnom syr'e* [Ferrite formation in iron ore]. Moscow: Nauka, 1990, 150 p. (In Russ.).

Information about the authors:

T.Ya. Malysheva, Cand. Sci. (Geol.-Mineralogical), Professor of Chair "Energy-efficient and Resource-saving Industrial Technologies"
S.A. Pisarev, Postgraduate of the Chair "Energy-efficient and Resource-saving Industrial Technologies" (labbor408@mail.ru)
A.R. Makavetskias, Senior Engineer
Yu.Yu. Fishchenko, Engineer

Received April 3, 2018