УДК 622.76: 669.712.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АГЛОРУДЫ ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.Л.ТРУШКО, *д-р техн. наук, профессор, trushko@spmi.ru*
В.А.УТКОВ, *д-р техн. наук, профессор, kafmetall@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия
А.С.КЛЯМКО, *канд. техн. наук, info@yakrudnik.ru*
ООО «Металл-групп», Москва, Россия

Выявлена способность аглоруды Яковлевского рудника существенно улучшать окомкование агломерационной шихты, уменьшать ее газодинамическое сопротивление в 4-5 раз, повышать производительность агломерационных машин, улучшать равномерность спекания и качество агломерата, снижать расход агломерационного твердого топлива и доменного кокса. Применение яковлевской аглоруды выводит агломерационный процесс на современный технический уровень спекания шихты в слое высотой 500-600 мм без применения дорогостоящих высоковакуумных эксгаустеров.

***Ключевые слова*:** агломерационная руда, качество агломерата, окомкование шихты, доменный процесс.

Железная руда Яковлевского месторождения отличается от применяемых в настоящее время аглоруд высоким содержанием железа и минимальным – вредных примесей (табл.1). Поэтому она ориентирована в основном на переработку способами бескоксовой металлургии [5, 6]. Однако работающих мощностей недостаточно для полного использования добываемых руд этого месторождения, что тормозит развитие рудника.

Таблица 1

Химический состав разновидностей аглоруд

Компоненты, %	Разновидности аглоруд*		
	1	2	3
$Fe_{общ}$	66,0	63,0	60,0
SiO_2	4,0	5,0	7,0
P	0,0175	0,0185	0,019
S	0,01	0,01	0,01

* 1 – яковлевская товарная аглоруда марки ЯРА-1; 2 – ЯРА-2; 3 – средние по составу аглоруды, поступающие на металлургические предприятия

Не менее перспективным с точки зрения крупномасштабной экономии доменного кокса является использование яковлевской руды в качестве компонента шихты для традиционного производства чугуна [3]. Существуют данные специалистов об экономической выгоде переработки высокожелезистого сырья в мощных доменных печах, обладающих наибольшим тепловым КПД [1, 2], и установках прямого восстановления железа, расположенных далеко от районов с крупной промышленностью [2, 8]. Для доменного производства важны не только повышение содержания железа в агломератах (табл.2), но и снижение содержания оксида кремния.

От оксида кремния зависит количество образующегося шлака. Основность (отношение CaO/SiO_2) доменного шлака должна быть в пределах 1,1-1,3 и обеспечивать максимальный перевод серы в шлак и его приемлемую вязкость. Большая часть CaO для офлюсования SiO_2 вносится в доменную печь с агломератом, поскольку выведение из доменного процесса каждой тонны известняка дает экономию 0,4 т кокса. Уменьшение содержания SiO_2 в аглоруде заметно сократит количество шлака и удельный расход кокса (табл.3).

Таблица 2

Влияние повышения содержания железа и уменьшения количества мелочи в агломерате на показатели аглодоменного передела [3]

Технологический фактор	Содержание мелочи –5 мм в агломерате, %	Изменение удельной производительности доменной печи, %	Экономия кокса, %
Увеличение содержания железа на 1%	–	+(1,5-2,5)	–(0,8-1,2)
Уменьшение мелочи –5 мм на 1%	–	+(0,4-0,7)	–(0,4-0,7)
Повышение высоты спекаемого слоя на 100 мм	Снижается на 4-8%	–	6-12

Таблица 3

Химический состав конечных доменных шлаков

Реальные варианты	Компоненты, %				Основность CaO/SiO_2	Выход шлака, кг/т чугуна	Удельный расход кокса, кг/т чугуна
	SiO_2	MgO	CaO	Al_2O_3			
1	37,40	7,58	41,21	11,13	1,1	337	413
2	38,34	5,75	45,75	6,26	1,19	555	562
3	38,37	5,40	47,91	6,60	1,25	526	528
4	39,09	5,54	47,64	5,85	1,33	531	468

Ввод в агломерационную шихту нового типа аглоруды должен быть исследован с точки зрения ее влияния на прочность агломерата (содержание количества мелочи –5 мм) (см. табл.2) и газодинамические характеристики агломерационных шихт, определяющих производительность процесса спекания на колосниковой решетке.

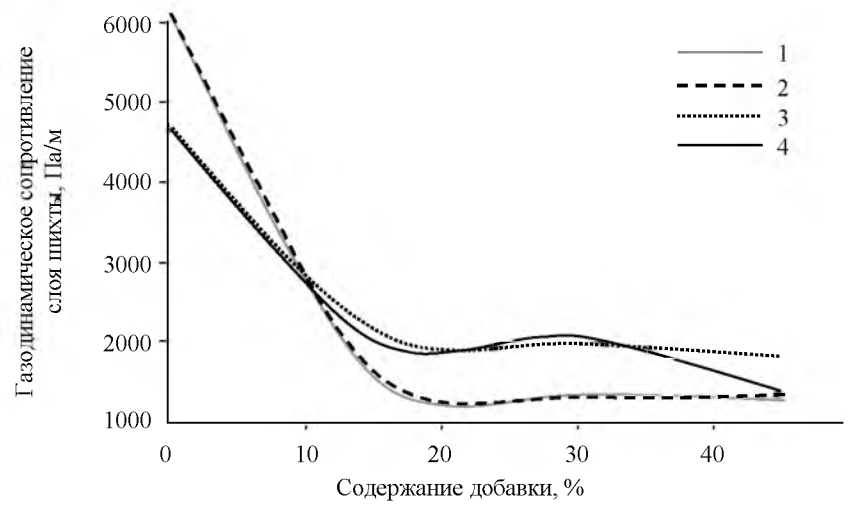
Доказано [4, 7], что увеличение содержания железа в аглошихте обеспечивает рост количества упрочняющих агломерат ферритов кальция, а снижение содержания оксида кремния уменьшает развитие разрушающего агломерат двухкальциевого силиката. В производственных условиях наблюдается линейная зависимость вертикальной скорости спекания от расхода просасываемого воздуха. Повышение газопроницаемости агломерационных шихт обеспечивается их окомкованием [3].

В табл.4 представлены результаты исследования окомкования агломерационных шихт с использованием яковлевских мартитовых и гидрогематитовых аглоруд в контакте с железными концентратами обогатительных фабрик «КМАруда» и «СГОК». Окомкование проводилось в лабораторном тарельчатом грануляторе. Скорость вращения чаши составляла 7 об/мин. Продолжительность окомкования 90 с. За начальную влажность принято 4 % и шаг увлажнения 1 %.

Таблица 4

Комкуемость железорудных концентратов и руд

Влажность, %	Комкуемость, %			
	«КМАруда»	«СГОК»	Яковлевский рудник	
			Мартитовая руда	Гидрогематитовая руда
6	18	16	35	36
7	18	30	34	39
8	21	44	35	47
9	32	50	39	58
10	33	44	44	75
11	36	49	59	82
12	36	38	81	90
13	65	40	88	86
14	77	71	88	87



Зависимость газодинамического сопротивления от содержания яковлевских руд в шихте
1 – концентрат «КМАруда» и мартитовая руда; 2 – «КМАруда» и гидрогематитовая руда;
3 – концентрат «Стойленский ГОК» и мартитовая руда; 4 – «Стойленский ГОК» и гидрогематитовая руда

Способность шихты к окомкованию характеризуется коэффициентом комкуемости, который равен доле годной крупной фракции в окомкованной шихте,

$$K = \frac{P_2 - P_1}{\sum M + W} \cdot 100\,\%,$$

где P_2 – содержание годной фракции +1,6 мм в окомкованной шихте, г; P_1 – естественное содержание годной фракции, г; M – масса продукта окомкования, г; W – масса добавленной влаги, г.

Дозировка яковлевской аглоруды в смеси с железорудными концентратами «СГОК» и «КМАруда» составляла 15, 30 и 45 %. Окомкование проводилось при влажности шихты от 6 до 14 % без добавления связующих веществ. За годную принималась фракция крупнее 1,6 мм, оптимальная для производства агломерата [3].

В работе выявлено, что увеличение количества яковлевской аглоруды до 20-30 % в составе железорудной части агломерационной шихты, содержащей железорудный концентрат, снижает ее газодинамическое сопротивление (повышает газопроницаемость) на агломерационной машине в 4-5 раз (см. рисунок). При этом достигается рост производительности агломерационных машин на 5-10 %, что подтверждается опытно-промышленными испытаниями.

Положительный технико-экономический эффект в аглодоменном производстве может быть достигнут не только увеличением содержания железа и производительности агломерационных машин, но и повышением прочности агломерата. Известно, что уменьшение количества мелочи –5 мм в агломерате на каждый 1 % дает снижение расхода кокса и повышение производительности доменной печи на 0,5-0,7 % (см. табл.2).

Прочность агломерата можно повысить механическим уплотнением шихты, при этом скорость спекания и движения агломашин сохраняются, производительность растет вместе с прочностью агломерата за счет более равномерного спекания уплотненной шихты со сближенными гранулами.

Наиболее эффективно повышение высоты спекаемого слоя шихты. За счет увеличения степени регенерации тепла от вышележащих слоев спекания низшим экономится топливо, зона спекания расширяется. Процесс спекания становится полнее. Сокращается расход кокса при агломерации и в доменных печах. За счет сокращения количества мелочи 0-5 мм возрастает их производительность (см. табл.2).

Применение яковлевской аглоруды дает возможность повысить технический уровень работы агломерационных машин, существенно увеличив высоту спекаемого слоя от обычных 250-400 до 500-600 мм, достигнутых в Японии, но без установки дорогостоящих высоковакуумных эксгаустеров. При этом исключается избыточно высокая скорость спекания, ухудшающая прочность агломерата [9].

Выводы

1. Ввод яковлевской руды в состав агломерационных шихт, содержащих железорудные концентраты, обеспечивает прирост производительности агломерационных машин и доменных печей на 5-10 % с экономией доменного кокса за счет повышения содержания железа и прочности агломерата.

2. Дополнительный существенный эффект дает снижение с помощью яковлевских руд газодинамического сопротивления спекаемого слоя шихты в 4-5 раз, использование механического уплотнения спекаемой шихты и увеличение высоты спекаемого слоя шихты без изменения скорости движения агломерационной ленты.

3. Применение яковлевской руды дает возможность поднять технический уровень работы агломерационных машин, увеличив высоту спекаемого слоя от 200-300 до 500-600 мм, не применяя дорогостоящие высоковакуумные эксгаустеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доменная печь № 6 ОАО НЛМК – лучший российский проект / И.Ф.Курунов, С.С.Ляпин, В.Л.Емельянов и др. // Металлург. 2008. № 10. С.46-51.

2. *Люнген Г.Б.* Сравнительная оценка стоимости производства чугуна и губчатого железа // Черные металлы. 1998. № 5. С.18-24.

3. Металлургия чугуна / Е.Ф.Вегман, Б.Н.Жеребин, А.Н.Похвиснев и др. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 774 с.

4. *Модель М.С.* Ферритообразование в железорудном сырье / М.С.Модель, В.Я.Лядова, Н.В.Чугунов. М.: Наука, 1990. 152 с.

5. Пути снижения себестоимости железа прямого восстановления / Н.Н.Копоть, В.С.Рыбкин, С.Н.Евстюгин и др. // Сталь. 2008. № 1. С.4-5.

6. Способ производства стали с применением технологии прямого восстановления / А.Орт, К.Бартлетт, Ж.-П.Неппер, К.Ферстер // Цветные металлы. 2010. № 2. Специальный выпуск. С.69-76.

7. *Утков В.А.* Высокоосновный агломерат. М.: Металлургия, 1977. 156 с.

8. *Omar C.L.* Direct reduchtion process» present and future. 6 International Congress on the Scienge and Technology of Ironmaking (ISTI 2012) including 42 ABM Ironmaking Seminar and 13 ABM Iron Ore Sumposium . Rio de Janero, Oct, 14-18, 2012, San Paulo, 2012. P.2595-2612.

9. *Shinichi Y., Tosyihiko U., Osamu J.* Simulation of sintering Process of air flow. ISIJ Int. 2012. 52. N 10. P.1785-1793.

REFERENCES

1. *Kurunov I.F., Ljapin S.S., Emel'janov V.L.* etc. Domennaja pech' № 6 OAO NLMK – luchshij rossijskij proekt (*Blast furnace N 6 NLMK – the best Russian project*). Metallurg, 2008. N 10, p.46-51.

2. *Ljungen G.B.* Sravnitel'naja ocenka stoimosti proizvodstva chuguna i gubchatogo zheleza (*Comparative evaluation of the production cost of pig iron and sponge iron*). Chernye metally, 1998. N 5, p.18-24.

3. *Wegman E.F., Zherebin B.N., Pohvisnev A.N.* etc. Metallurgija chuguna (*Iron making*). Moscow: IKC «Akademkniga», 2004, p.774.

4. *Model' M.S., Ljadova V.Ja., Chugunov N.V.* Ferritoobrazovanie v zhelezorudnom syr'e (*Ferrite formation in iron ore*). Moscow: Science, 1990, p.152.

5. *Kopot' N.N., Rybkin V.S., Evstjugin S.N.* etc. Puti snizhenija sebestoimosti zheleza prjamogo vosstanovlenija (*The ways of direct-reduced iron cost reduction*). Stal', 2008. N 1, p.4-5.

6. *Ort A., Bartlett K., Nepper J., Foerster K.* Sposob proizvodstva stali s primeneniem tehnologii prjamogo vosstanovlenija (*A method of steel production using direct reduction*). Cvetnye metally, 2010. N 2. Special'nyj vypusk, p.69-76.

7. *Utkov V.A.* Vysokoosnovnyj aglomerat (*High-basic sinter*). Moscow: Metallurgija, 1977, p.156.
8. *Omar C.L.* Direct reduchtion process present and future. 6 International Congress on the Scienge and Technology of Ironmaking (ISTI 2012) including 42 ABM Ironmaking Seminar and 13 ABM Iron Ore Sumposium . Rio de Janero, Oct, 14-18, 2012, San Paulo, 2012, p.2595-2612.
9. *Shinichi Y., Tosyihiko U., Osamu J.* Simulation of sintering Process of air flow. ISIJ Int. 2012. 52. N 10, p.1785-1793.

STUDY OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE YAKOVLEVSKIY MINE SINTERING ORE

V.L.TRUSHKO, *Dr. of Engineering Sciences, Professor, trushko@spmi.ru*
V.A.UTKOV, *Dr. of Engineering Sciences, Professor, kafmetall@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia
A.S.KLYAMKO, *PhD in Engineering Sciences, info@yakrudnik.ru*
LLC «Metall-grupp», Moscow, Russia

The work reveals the ability of the Yakovlevskiy mine sinter ore to improve pelletizing of a sinter mix, to reduce its flow resistance in 4-5 times, to increase capacity of a sinter machine, to improve the sintering uniformity and sinter quality, to reduce consumption of agglomeration solid fuels and coke. Application of the Yakovlevskiy sinter ore moves sintering process to a modern technical level of charge in the sintering bed 500-600 mm in height without the use of expensive high-vacuum exhausters.

***Key words*:** sintering ore, sinter quality, pelletizing of charge, blast furnace process.