РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАЧКАНАРСКИХ ОКАТЫШЕЙ

*Б. П. ЮРЬЕВ, доцент кафедры “Теплофизика и информатика в металлургии”, yurev-b@mail.ru;
В. А. ДУДКО, заведующий лабораторией кафедры “Теплофизика и информатика в металлургии”
(Институт новых материалов и технологий Уральского федерального университета им. первого
Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, г. Екатеринбург)*

Аннотация. Разработана технология доменной плавки на разноосновном качканарском железорудном сырье. Проведены исследования по изучению влияния состава газовой среды и основности окатышей на их структуру и металлургические свойства, а также влияния основности и содержания топлива в шихте на металлургические свойства и структуру агломерата. Установлено, что применение низкоосновных окатышей и высокоосновного агломерата, слаборазрушающихся при восстановлении, обеспечивает высокую газопроницаемость в верхних горизонтах доменной печи.

Показано, что наличие амфотерных оксидов титана и алюминия в качканарских агломерате и окатышах, а также понижение угла наклона шахты в доменной печи предотвращают раннее слипание шихтовых материалов в нижних горизонтах печи, что обеспечивает ровный сход шихты, высокую степень использования восстановительного потенциала газа и, соответственно, повышение производительности печи, а также снижение расхода кокса.

Проведен анализ работ по оптимизации технологии получения окатышей из качканарского концентрата. Установлено, что повышения качества этих окатышей можно достигнуть в результате внедрения технологии их обжига с частичной диссоциацией гематита. Выполнена комплексная оценка металлургических свойств частично диссоциированных окатышей. Показано, что окатыши с гематито-магнетитовой структурой, полученной при частичной диссоциации гематита, восстанавливаются при более высоких температурах, когда не происходит их интенсивное разбухание и разрушение на стадии перехода гематита в магнетит.

Ключевые слова: доменная плавка; качканарское железорудное сырье; частично диссоциированные окатыши; гематито-магнетитовая структура; производительность доменной печи; снижение расхода кокса.

Ссылка для цитирования. Юрьев Б.П., Дудко В.А. Разработка технологий с целью повышения металлургических свойств качканарских окатышей // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 9. С. 32–39.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-9-32-39

Фабрика окатышей Качканарского горно-обогатительного комбината введена в эксплуатацию в 1970 г. и до настоящего времени производит полностью офлюсованные окатыши. Особенности концентрата, из которого изготавливают окатыши, являются сравнительно высокая естественная основность (CaO/SiO_2) и значительная величина суммы оксидов титана и магния, достигающая 5,3 %. Эти особенности концентрата приводят к двум важным следствиям, которые во многом определяют технологию получения окатышей: при относительно небольшой добавке известняка можно получать полностью офлюсованные окатыши; для реализации жидкофазного спекания, определяющего достижение высоких металлургических свойств окатышей, необходима высокая температура.

Существующая технология производства офлюсованных окатышей из титаномагнетитового концентрата обеспечивает удовлетворительную прочность окатышей (1700–1800 Н/окатыш) и низкое содержание мелочи (0–5 мм). Однако проплавка окатышей в доменных печах Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК)

сопровождалась повышенным выносом колошниковой пыли, что приводило к потере металла и снижению стойкости засыпных аппаратов. Кроме того, наблюдалось сильное разрушение окатышей при восстановлении.

В связи с увеличением доли окатышей в шихте доменных печей НТМК до 50–60 % повышение их прочности в исходном состоянии и при восстановлении становится одним из направлений для экономии кокса.

Сотрудниками института “Уралмеханобр” и Уральского федерального университета (УрФУ) им. Б.Н. Ельцина с целью обоснования разработанной технологии доменной плавки на разноосновном качканарском железорудном сырье были проведены исследования на установке аглочаша на окатышах основностью 0,3; 0,7 и 1,25. Оценка прочности осуществлялась в мини-барабане, а при восстановлении — в установке Линдера. Минералогический анализ проводился для окатышей среднего слоя. Окатыши подвергались также восстановлению в дериватографе при нагреве со скоростью 10 °С/мин до 1000 °С в газе

по составу, близкому к имеющемуся в средних горизонтах доменной печи.

Исследованием установлено, что неофлюсованные окатыши имеют прочность в исходном состоянии в 1,5–1,7 раза большую, чем офлюсованные окатыши с основностью 0,7–1,2, и практически не разрушаются при восстановлении. Частично окисленные неофлюсованные окатыши независимо от режима их обжига сохраняют высокую прочность. Причина сильного разупрочнения окисленных офлюсованных окатышей при восстановлении заключалась в особенностях структуры шлаковых связей [1], представленных преимущественно ферритами и силикоферритами кальция. Причем для окатышей верхних горизонтов, обожженных при температуре 1220–1280 °С, ферриты выпадают при кристаллизации расплава. В этом случае сопутствующим компонентом смеси является гематит. Для окатышей нижних горизонтов, обожженных при температурах ниже точки плавления ферритов (1200 °С), они образуются при твердофазном соединении извести и гематита. Общей чертой ферритов (жидко- и твердофазного происхождения) является их высокая восстановимость при сравнительно низких температурах (600–700 °С). Ферритные связи не препятствуют восстановлению основного рудного минерала — гематита в указанном температурном интервале. При этом гематит увеличивает свой объем на 15–30 %, приводя к разрушению офлюсованных окатышей.

В случае неофлюсованных окатышей основным нерудным компонентом обожженных окатышей является железо-кальций-силикатное стекло. Оно формируется при застывании жидких шлаковых включений с широким интервалом размягчения (1180–1250 °С). Следовательно, в большей части слоя неофлюсованных окатышей шлаковая связка представлена слабовосстановимым железо-кальций-силикатным стеклом. Это сдвигает температуру начала восстановления окатышей в область температур 800–1000 °С, где не наблюдается существенного разбухания гематита и соответствующего разрушения окатышей.

Для получения прочных в исходном состоянии и при восстановлении офлюсованных окатышей необходимо их предварительное окисление и последующий обжиг с частичной диссоциацией гематита. Учитывая высокий уровень металлургических свойств неофлюсованных окатышей, а также близкую к офлюсованным степень восстановления, достигаемую в среднем и нижнем горизонтах, можно рекомендовать их ис-

пользование в доменных печах, если их плавка вместе с агломератом не вызовет отрицательного воздействия на футеровку печи и не приведет к существенному падению газопроницаемости зоны вязкопластичного состояния шихты. Для оценки указанных явлений необходимо подобрать основность агломерата, позволяющую исключить ввод большого количества известняка в доменную печь, и оценить свойства в условиях температур перехода из упругого состояния в пластичное.

Установлено также, что наилучшими металлургическими свойствами обладает агломерат основностью 2,0–2,3. Для спекания шихта должна содержать 4 % С при высоте слоя 330 мм, чтобы обеспечить содержание монооксида железа не выше 11,0–11,5 %. Кроме того, агломерат имеет прочность при восстановлении по выходу крупных классов (более 10 мм) в 3–5 раз большую, чем производимый в настоящее время с основностью 1,3 (табл. 1). Ферритная связка обеспечивает высокую восстановимость агломерата основностью 2,0–2,3. Для того чтобы обеспечить требуемую основность доменного шлака, агломерат должен проплавляться в смеси с неофлюсованными окатышами. При использовании на НТМК всего качканарского сырья соотношение масс окатышей и агломерата в шихте доменных печей составит 3:2 (табл. 2).

Интенсификация плавки при использовании малоосновных окатышей и высокоосновного агломерата, содержащих амфотерные оксиды, вызывает расширение зоны потока шихты в области низа шахты и заплечиков. Как показали проведенные на Магнитогорском металлургическом комбинате (ММК) опытные плавки, применение низкоосновных окатышей, имеющих низкую разрушаемость при восстановлении, расширение зоны потока шихты в нижней части шахты и заплечиков приводит к росту бокового давления шихты в этой зоне, что способствует ускорению износа футеровки и холодильников. Для того чтобы предотвратить смывание гарнисажа на футеровке заплечиков увеличенным потоком шихты, предлагается поддерживать угол наклона перевернутого конуса футеровки заплечиков на 0,5–1,0 град. меньше, чем угол наклона шахты. В этом случае при понижении угла наклона шахты сохраняется требуемая крутизна излома потока при переходе из зоны восстановления в зону плавления. Возникающее сопротивление движению шихты способствует образованию гарнисажа на футеровке заплечиков.

ТАБЛИЦА 1. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ШИХТЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ И КАЧЕСТВО АГЛОМЕРАТА РАЗНОЙ ОСНОВНОСТИ ПРИ ВЫСОТЕ СЛОЯ 330 мм

TABLE 1. INFLUENCE OF HARD FUEL CONTENT IN THE MIXTURE ON THE SINTERING PROCESS INDICES AND QUALITY OG SINTER OF DIFFERENT BASICITY WITH THE LAYER HIGHT OF 330 mm

Показатель	Основность агломерата				
	1,7		2,2		
	содержание углерода в шихте, %				
	3,5	4,0	3,5	4,0	4,5
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	14,9	15,3	15,9	16,5	16,5
Удельная производительность, т/(м ² ·ч)	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
Гранулометрический состав, %, по классам, мм:					
>40	10,9	18,7	10,0	11,3	17,5
25–15	15,9	23,3	23,3	24,8	24,4
5–0	23,3	17,7	22,2	17,2	17,4
Химический состав, %:					
FeO	12,1	13,7	9,8	11,8	13,5
Fe _{общ}	55,2	54,4	53,3	53,0	52,7
S _{общ}	0,008	0,008	0,009	0,011	0,038
Прочность по ГОСТ 15137–77, %:					
B _{>5}	68,3	74,7	74,9	73,0	69,3
B _{<0,5}	4,7	3,0	4,0	3,7	3,4
Прочность при восстановлении, %:					
по ГОСТ 19574–84:					
B _{>10}	3,7	6,5	—	13,0	22,9
B _{<0,5}	35,2	35,0	—	24,1	20,4
по ГОСТ 27446–87:					
RDI _{>6,3}	—	12,6	28,5	39,7	56,5
RDI _{>3,15}	45,6	39,5	55,1	67,4	75,4
RDI _{<0,5}	16,9	16,7	14,8	10,8	9,4
Степень восстановления по ГОСТ 19575–81, %	39,6	38,7	—	41,2	38,4

ТАБЛИЦА 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И РАСЧЕТНЫЙ СОСТАВ ОКАТЫШЕЙ И АГЛОМЕРАТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ В ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ ШЛАКА С ОСНОВНОСТЬЮ 1,13–1,14, % (мас.)

TABLE 2. CHEMICAL COMPOSITION OF BURDEN MATERIALS AND CALCULATED COMPOSITION OF PELLETS AND SINTERS TO MAKE A SLAG IN THE BLAST FURNACE HEAT WITH A BASICITY OF 1,13–1,14, % (mas.)

Содержание	Концентрат		Бентонит	Известняк	Зола		Окатыши	Агломерат основностью	
	окатышей	агломерата			кокшика	антрацита		1	2
Fe	62,3	60,4	0,9	0,3	14,4	10,6	60,4	55,14–55,04	54,30–4,23
FeO	28,1	—	—	—	—	—	2,4	14,30	14,10
CaO	1,2	2,0	3,6	54,0	9,3	7,6	1,2	9,25–9,40	10,53–10,63
SiO ₂	3,5	5,1	60,0	1,6	40,9	49,3	4,0	5,35–5,36	5,32–5,33
Al ₂ O ₃	2,3	2,7	14,8	0,5	21,8	21,0	2,4	2,80	2,80
MgO	2,4	3,0	2,9	0,6	4,4	2,7	2,4	2,90	2,80
MnO	0,4	0,2	—	—	1,4	1,2	0,3	0,18	0,18
V ₂ O ₅	0,6	0,6	—	—	—	—	0,6	0,51	0,51
TiO ₂	2,6	2,6	—	—	—	—	2,6	2,35–2,36	2,32
CaO/SiO ₂	3,3	0,4	—	—	—	—	0,3	1,73–1,76	1,98–2,00

Указанные пределы изменения углов наклона шахты и заплечиков обоснованы опытом эксплуатации доменных печей НТМК и ММК с переменным углом наклона профиля футеровки доменных печей.

Таким образом, применение низкоосновных окатышей и высокоосновного агломерата, слабообразующихся при восстановлении, обеспечивает высокую газопроницаемость в верхних горизонтах доменной печи. Наличие амфотерных оксидов титана и алюминия в качканарских аг-

ломерате и окатышах, а также понижение угла наклона шахты предотвращают раннее слипание шихтовых материалов в нижних горизонтах печи, что обеспечивает ровный сход шихты, высокую степень использования восстановительного потенциала газа и, соответственно, повышение производительности печи и снижение расхода кокса. Выбор угла наклона к горизонту футеровки шахты и заплечиков позволяет сохранить стойкость огнеупорной футеровки на уровне, достигнутом при работе на одноосновном сырье.

С целью повышения металлургических свойств качканарских окатышей и увеличения продолжительности высокотемпературной обработки окатышей нижних слоев было предложено несколько способов их обработки. Один из них — обжиг окатышей в слое высотой 500 мм [2]. Увеличение высоты слоя привело к снижению максимальных скоростей нагрева в 1,6–1,8 раза и повышению длительности нахождения окатышей при температуре 1200 °С до 5 мин. Сравнительно низкая эффективность использования высокого слоя связана с тем, что для окатышей характерна высокая склонность к образованию трещин вплоть до слипания на участке 50–350 мм от донной постели. Это связано с резким снижением интенсивности фильтрации, переувлажнением и усадкой слоя в зоне сушки на 10–13 %.

Для придания высокой прочности окатышам в исходном состоянии необходимо обеспечить условия для протекания жидкофазного спекания [3, 4]. В случае офлюсованного до основности 1,2–1,3 сырья, имеющего в своем составе тугоплавкие оксиды магния и титана, температура в слое не должна быть ниже 1220–1250 °С [5]. Это обеспечит прочность окатышей на сжатие даже на нижних горизонтах на уровне 1500 Н/окатыш.

Для снижения температурного перепада между верхом и низом слоя и обеспечения наибольшей глубины прохождения фронта жидкофазного спекания было предложено повысить температуру теплоносителя на начальной стадии нагрева окатышей с 1000–1100 до 1250–1300 °С. Промышленные испытания этого способа обжига показали, что при высоте слоя 350 мм скорость нагрева верхней части слоя составляет 200 °С/мин, а средней — 125 °С/мин и нижней — 110 °С/мин. Следует отметить, что высокая скорость нагрева (200–300 °С/мин) является причиной раннего жидкофазного спекания окатышей верхнего слоя и торможения окисления. В ре-

зультате структура окатышей зональна и представлена магнетитовым ядром и гематитовой оболочкой. При охлаждении таких окатышей в результате различной усадки ядра и оболочки возникают напряжения, приводящие к растрескиванию и потере прочности [6, 7]. Это не позволяет реализовать преимущества интенсивного нагрева, обеспечивающего более высокий температурный уровень обработки нижних слоев окатышей.

Сотрудниками института “Уралмеханобр” и УрФУ им. Б.Н. Ельцина разработан способ получения частично диссоциированных окатышей из качканарского концентрата. Проведенные исследования показали, что уменьшить разупрочнение качканарских офлюсованных окатышей в ходе восстановления можно, формируя при обжиге слабовосстановимую шлаковую связку в виде железо-кальций-силикатного стекла. Для образования шлаковой связки необходимо двухвалентное железо, входящее в состав магнетита. Получить достаточное его количество в предварительно окисленных окатышах можно, осуществляя при обжиге частичную диссоциацию гематита до магнетита.

Для оценки металлургических свойств частично диссоциированных окатышей провели укрупненные лабораторные опыты на установке аглочаша. Основность офлюсованных известняком окатышей составляла 1,25. Окатыши получали из качканарского концентрата с общим содержанием железа 62,3 %.

Поиск оптимальных параметров нагрева и обжига, обеспечивающих получение окатышей высокого качества, осуществлен с помощью ротатбельного центрального композиционного плана второго порядка, который включает 16 опытов полного четырехфакторного эксперимента [8]. В качестве независимых переменных (факторов) приняты параметры, которые могут оказывать существенное влияние на степень окисления магнетита и высокотемпературной диссоциации гематита, а именно: x_1 — время выдержки при 1000 °С при максимальной скорости окисления [9–11]; x_2 — температура; x_3 — время высокотемпературного обжига; x_4 — диаметр окатыша. Ниже приведены значения Δx_i (шаг варьирования i -го фактора), кодированные значения факторов (уровни варьирования параметров) и их натуральные значения:

Фактор		Δx_i	Натуральные значения факторов на уровнях				
обозначение	единица измерения		–2	–1	0	+1	+2
x_1	с	300	60	360	660	960	1260
x_2	°С	50	1200	1250	1300	1350	1400
x_3	с	120	60	180	300	420	540
x_4	мм	2	9	11	13	15	17

Натуральные значения X_i определяли по выражению

$$X_i = (x_i - x_{0,i})/\Delta x_i,$$

где x_i и $x_{0,i}$ — текущее и нулевое значения i -го параметра; Δx_i — шаг варьирования i -го параметра.

В качестве зависимых переменных приняты показатели металлургических свойств окатышей: y_1 — прочность при раздавливании; y_2 — прочность на удар после испытания в барабане; y_3 — прочность при восстановлении по ГОСТ 19575–74; y_4 — истираемость при восстановлении по ГОСТ 19575–74.

Комплексную оценку качества окатышей проводили по критерию Y (функции желательности), предложенному в работе [12]:

$$Y = (d_1, d_2, \dots, d_n)^{1/n},$$

где d_i — безразмерная величина, определяемая по значению i -го показателя ($i = 1, 2, \dots, n$).

Величину d_i определяли по выражению

$$d_i = \exp \left[-\exp \left(-2 \frac{y_i - \bar{y}_i}{y_i^* - \bar{y}_i} \right) \right],$$

где $\bar{y}_i$ и y_i^* — среднее и лучшее значение зависимой переменной y_i .

Связь между показателями качества y и параметрами обжига x_i выражали в виде полиномов следующего типа:

$$y = \sum_{i,j=0}^4 A_{i,j} X_i Y_j.$$

Проверку адекватности модели проводили по критерию Фишера [8]. Значимые с вероятностью более 0,95 коэффициенты $A_{i,j}$ приведены ниже:

Зависимые переменные		Значение $A_{i,j}$ при					
обозначение	единица измерения	$x_0 = 1$	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 \cdot x_4$
y_1	Н/окатыш	1830	50,500	—	—	—	21,500
y_2	Выход, %, класса менее 5 мм	6,910	–3,690	—	—	3,860	–3,540
y_3	Выход, %, класса более 10 мм	11,100	—	7,800	—	—	—
y_4	Выход, %, класса менее 5 мм	70,100	—	–11,500	—	—	—
Y	Доли ед.	0,155	0,132	—	—	–0,109	—

На рисунке показаны зависимости показателей качества окатышей диам. 13 мм от времени предварительного окисления и температуры над слоем окатышей при обжиге.

Видно, что время обжига не оказывает существенного влияния на прочностные свойства окатышей. Истираемость окатышей при восстановлении существенно снижается с повышением температуры над слоем, а выход крупных классов увеличивается. На рисунке, *a* и *б*, показан выход после восстановления классов более 10 мм (B_{+10}) и менее 5 мм (B_{-5}).

Повышение прочностных свойств сопровождается ростом содержания монооксида железа в обожженных окатышах (см. рисунок, *в*). Рост содержания монооксида железа с уменьшением времени окислительного обжига обусловлен недоокислением первичного магнетита, а повышение температуры приводит к диссоциации гематита до магнетита.

Окатыши, малоокисленные при 1000 °С, имеют при заданной температуре большее количество монооксида железа, чем полностью окисленные перед высокотемпературным обжигом. Однако зависимости прочностных свойств при

восстановлении от времени окислительной выдержки не выявлены. По-видимому, это обусловлено следующим. Основным фактором, определяющим появление необходимого количества шлака для экранирования рудных зерен от непосредственного контакта с восстановительным газом, является температура обжига. Небольшого количества магнетита, независимо от его происхождения, достаточно для обогащения расплава двухвалентным железом, способствующим застыванию оксидной жидкости в виде слабовосстановимого стекла. Окатыши с такой связкой в меньшей степени подвержены разрушению при восстановлении.

Прочность Π и истираемость $И$ в исходном состоянии (в противоположность этим характеристикам при восстановлении) соответственно увеличивается и снижается с ростом времени предварительного окисления в изученном интервале температур 1200–1360 °С (см. рисунок, *д*, *е*). Низкие механические характеристики не полностью окисленных окатышей связаны с их зональным строением. Полностью окисленные окатыши однородны и прочны.

Зависимости показателей качества окатышей, обожженных на установке аглочаша, от температуры обжига (а–г) и времени окислительной выдержки при 1000 °С (д–ж)

Dependence of the quality indicators of pellets burned on installation of an aglochash on the temperature of roasting (a–г) and time of oxidizing soaking at 1000 °C (д–ж)

Перечисленные особенности влияния времени выдержки и температуры окислительного обжига на прочностные свойства окатышей в исходном состоянии и при восстановлении приводят к тому, что функция желательности Y , показывающая уровень качества окатышей, растет с увеличением времени выдержки 0–960 с и температуры обжига 1200–1360 °С (см. рисунок, г, ж). Увеличение этих параметров сверх указанных пределов нежелательно, так как может привести к потере прочности и сплавлению окатышей. При времени выдержки 960 с и темпера-

туре обжига 1370 °С получаются частично диссоциированные окатыши с прочностью большей 2000 Н/окатыш. Выход мелких классов (0–5 мм) после восстановления по ГОСТ 19575–74 составляет менее 50 %. Действующая на Качканарском горно-обогатительном комбинате технология обжига окатышей предусматривает время подогрева около 300 с и более низкую температуру обжига 1300–1327 °С. Это обуславливает невысокую прочность окатышей в исходном состоянии и повышенную разрушаемость при восстановлении.

Заключение

С целью обоснования разработанной технологии доменной плавки на разноосновном качканарском железорудном сырье были проведены исследования на экспериментальной установке на окатышах разной основности. Определены оптимальные параметры спекания и основность

агломерата. Дано обоснование соотношению масс окатышей и агломерата, используемых в шихте доменной печи. Показано, что применение малоосновных окатышей и высокоосновного агломерата позволяет повысить производительность доменной печи и снизить удельный расход

кокса. Рассмотрено несколько способов повышения металлургических свойств качканарских окатышей и установлено, что только способ получения частично диссоциированных окатышей

позволяет значительно уменьшить их разупрочнение в процессе восстановления в верхних горизонтах доменной печи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меламуд С.Г., Брук Л.Б., Топорищев Г.А. Исследование шлакообразования при обжиге окискованных продуктов из качканарских титаномагнетитовых концентратов // Изв. АН СССР. Металлы. 1978. № 4. С. 28–34.
2. Теплотехнические расчеты агрегатов для окискования железорудных материалов / С.В. Базилевич, В.М. Бабошин, Я.Л. Белоцерковский и др. — М.: Металлургия, 1979. — 208 с.
3. Кузнецов Р.Ф., Абзалов В.М., Буткарев А.П. и др. Термообработка окатышей различной основности // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 1974. № 22. С. 37–39.
4. Копырин И.А., Борц Ю.М., Граур И.Ф. Производство окатышей различной основности. — М.: Металлургия, 1975. — 192 с.
5. Оптимальные тепловые параметры обжига и производительность обжиговых конвейерных машин / Г.М. Майзель, А.П. Буткарев, Р.Ф. Кузнецов и др. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 1977. № 21. С. 33, 34.
6. Melamud S.G., Yur'ev B.P. Stress Calculation in Roasted Iron-Ore Pellets on Cooling // Steel in Translation. 2015. Vol. 45. № 12. P. 903–907.
7. Меламуд С.Г., Лопатин Ю.Н., Юрьев Б.П. К вопросу о напряженном состоянии в обожженных зональных окатышах // Металлы. 2002. № 1. С. 3–9.
8. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. — М.: Наука, 1965. — 340 с.
9. Melamud S.G., Yur'ev B.P. Oxidation of Iron ore at Moderate and High Temperatures // Steel in Translation. 2016. Vol. 46. № 6. P. 384–389.
10. Yur'ev B.P., Spirin N.A. Oxidation of iron-ore pellets // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. № 5. P. 400–403.
11. Юрьев Б.П., Гольцев В.А. Исследование процесса окисления магнетита // Изв. вузов. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 10. С. 735–739.
12. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 279 с.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES WITH A PURPOSE OF INCREASING OF METALLURGICAL PROPERTIES OF KACHKANAR PELLETS

*B. P. YUR'EV, Associate Professor of the Dpt "Heat physics and informatics in metallurgy", yurev-b@mail.ru;
V. A. DUDKO, Head of laboratory, Dpt "Heat physics and informatics in metallurgy"
(Institute of New Materials and Technologies, Ural Federal University
after the First President of Russia B.N. El'tsin, Russia, Ekaterinburg)*

Abstract. A blast furnace technology developed, using equally basicity Kachkanar iron ore raw materials. Research work carried out to study gas media content and pellets basicity influence on their structure and metallurgical properties, as well as basicity and fuel content in the burden influence on metallurgical properties and structure of sinter. It was determined, that usage of low basicity pellets and high basicity sinter with weak rupture during reduction, provide a high gas penetrability in the upper horizons of blast furnace.

It was shown, that presence of amphoteric titanium oxides and aluminum in Kachkanar sinter and pellets, as well as decrease of slope angle of the shaft in blast furnace prevents the early sticking of burden materials in the lower horizons of the furnace, that provides smooth burden lowering, high degree of gas reduction potential usage and thus the increase of the furnace productivity as well as coke rate decrease.

An analysis of the work to optimize the technology of pellets production of Kachkanar concentrates made. It was determined, that an increase of the pellets quality can be reached as a result of implementation of a technology of their roasting with a partial dissociation of hematite. A complex estimation of metallurgical properties of partially dissociated pellets carried out. It was shown, that the pellets with hematite-magnetite structure, being a result of partial dissociation of hematite, are reduced at higher temperatures, when their intensive swell and rupture at the stage of hematite-into-magnetite transfer do not happen.

Key words: blast furnace heat; Kachkanar iron ore raw materials; partially dissociated pellets; hematite-magnetite structure; blast furnace productivity; coke rate decreasing.

For citation: Yur'ev B.P., Dudko V.A. Development of technologies with a purpose of increasing of metallurgical properties of Kachkanar pellets. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 9, pp. 32–39. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-9-32-39

REFERENCES

1. Melamud S.G., Bruk L.B., Toporishhev G.A. Study of slag formation during roasting of lump products of Kachkanar titanium-magnetite concentrates. *Izvestiya AN SSSR. Metally*, 1978, no. 4, pp. 28–34. (In Russ.).
2. Bazilevich S.V., Baboshin V.M., Belocerkovskij Ya.L. etc. *Teplotekhnicheskie raschety' agregatov dlya okuskovaniya zhelezorudny'x materialov* [Heat-engineering calculations of facilities for agglomerating of iron ore materials]. Moscow: Metallurgiya, 1979, 208 p. (In Russ.).
3. Kuznecov R.F., Abzalov V.M., Butkarev A.P. etc. Thermal treatment of pellets of different basicity. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 1974, no. 22, pp. 37–39. (In Russ.).
4. Kopy'rin I.A., Borcz Yu.M., Graur I.F. *Proizvodstvo okaty'shej razlichnoj osnovnosti* [Production of pellets of different basicity]. Moscow: Metallurgiya, 1975, 192 p. (In Russ.).
5. Majzel' G.M., Butkarev A.P., Kuznecov R.F. etc. Optimal parameters of roasting and productivity of roasting conveyer machines. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 1977, no. 21, pp. 33, 34. (In Russ.).
6. Melamud S.G., Yur'ev B.P. Stress Calculation in Roasted Iron-Ore Pellets on Cooling. *Steel in Translation*, 2015, vol. 45, no. 12, pp. 903–907.
7. Melamud S.G., Lopatin Yu.N., Yur'ev B.P. Items of stress status on roasted zone pellets. *Metally*, 2002, no. 1, pp. 3–9. (In Russ.).
8. Nalimov V.V., Chernova N.A. *Statisticheskie metody' planirovaniya e'kstremal'ny'x e'ksperimentov* [Statistical methods of extreme experiments planning]. Moscow: Nauka, 1965, 340 p. (In Russ.).
9. Melamud S.G., Yur'ev B.P. Oxidation of Iron ore at Moderate and High Temperatures. *Steel in Translation*, 2016, vol. 46, no. 6, pp. 384–389.
10. Yur'ev B.P., Spirin N.A. Oxidation of iron-ore pellets. *Steel in Translation*, 2011, vol. 41, no. 5, pp. 400–403.
11. Yur'ev B.P., Gol'cev V.A. Study of oxidation process of magnetite. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya*, 2016, vol. 59, no. 10, pp. 735–739. (In Russ.).
12. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskij Yu.V. *Planirovanie pri poiske optimal'ny'x uslovij* [Planning at search of optimal conditions]. Moscow: Nauka, 1976, 279 p. (In Russ.).