

УДК 669.162

*д.т.н. Новохатский А. М.,
Блинов А. М.,
Бобров А. Ю.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

В данной работе рассмотрены гранулометрический состав и порозность различных видов кокса: калиброванного, рядового, валового, кокса фурменной зоны. Кроме того, была определена кажущаяся плотность шлака, находящегося в нижней части доменной печи в период плавки.

Ключевые слова: доменная печь, горн, кокс, шлак, порозность кокса, плотность шлака.

Важной проблемой в доменном производстве является определение объёмного баланса продуктов плавки в горне доменной печи с целью недопущения его переполнения [1]. В приходную статью данного баланса входит поступление чугуна и шлака в металлоприёмник, а в расходную — их выпуск. По материальному балансу определяется масса чугуна и шлака, приходящих в горн доменной печи. Так как плотность чугуна известна и имеет узкий диапазон 6,9–7,2 т/м³, то определение его объёма не представляет затруднений. Вычисление объёма горна, который занимает шлак, осложнено отсутствием данных о его кажущейся плотности во вспененном состоянии, а также значения порозности горнового кокса.

В горне доменной печи находится коксовая насадка, в межкусковых промежутках которой накапливается чугун и шлак. Кокс неоднороден по крупности и поэтому из-за вариации размеров кусков насадки величина пустот различна. Вероятно, что, имея относительно высокую вязкость, шлак не заполняет промежутки малого размера, а значит, при определении объёма расплава в горне это необходимо учитывать. В связи с этим требуется ввести научное понятие «наполнительная способность» коксовой насадки. Наполнительная способность показывает относительный объём, пригодный для накопления продуктов плавки. Она зависит от порозности и размера межкусковых промежутков коксовой насадки.

Порозность коксовой насадки изменяется в широких пределах и зависит от механического и химического разрушения кокса в доменной печи. Определение плотности шлака затруднено в связи с его вспениванием в горне доменной печи, и известное значение 2,6 т/м³ [2], которое было определено после дегазирования, не подходит для определения объёма расплава в металлоприёмнике. Поэтому важной задачей является определение кажущейся плотности горнового шлака и наполнительной способности коксовой насадки в горне доменной печи.

Исследования технических показателей кокса проводились для четырёх его видов:

- калиброванный кокс (крупность 50–60 мм; получали путём просеивания на ситах валового кокса);
- рядовой кокс, загружаемый в доменную печь (крупность +25 мм; отсевали мелкую фракцию, моделируя кокс, загружаемый в доменную печь);
- валовый кокс без отсева (кокс полифракционного состава, получаемый из коксовой батареи);
- кокс, отобранный через амбразуру фурменного прибора.

Ситовый состав трёх последних образцов представлен в таблицах 1–3 и на рисунке 1. Порозность кокса определялась по формуле:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_n}{\rho_k}, \quad (1)$$

где ε — порозность; ρ_n — насыпная плотность; ρ_k — кажущаяся плотность.

Кажущуюся плотность кокса находили по формуле:

$$\rho_k = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где m — масса образца; V — объём образца.

Объём образцов находили методом парафинирования. Отобранные 10 образцов кокса, различной крупности взвешивали, а затем погружали на тонкой проволоке в расплавленный парафин. Покрытые тонкой пленкой парафина куски погружали в градуированный сосуд с водой и по количеству вытесненной жидкости определяли их объём. Данные внесены в таблицу 4.

Таблица 1

Ситовый состав рядового кокса (крупность + 25 мм)

Фракция	25–30	30–40	40–50	50–60	+60
кг	0,572	1,482	1,196	0,5785	1,625
%	10,49	27,18	21,93	10,61	29,80

Таблица 2

Ситовый состав валового кокса

Фракция	–3	3–5	5–7	7–10	10–15	15–25	25–30	30–40	40–50	50–60	+60
кг	0,075	0,125	0,085	0,105	0,165	0,465	0,44	1,14	0,92	0,445	1,25
%	1,44	2,40	1,63	2,01	3,16	8,92	8,44	21,86	17,64	8,53	23,97

Таблица 3

Ситовый состав кокса «из фурмы»

Фракция	–3	3–5	5–7	7–10	10–15	15–25	25–30	30–40	40–50	50–60	+60
кг	0,99	0,28	0,266	0,37	0,76	1,65	0,404	0,435	0,275	0,1	0,07
%	17,68	5,00	4,75	6,61	13,57	29,46	7,21	7,77	4,91	1,79	1,25

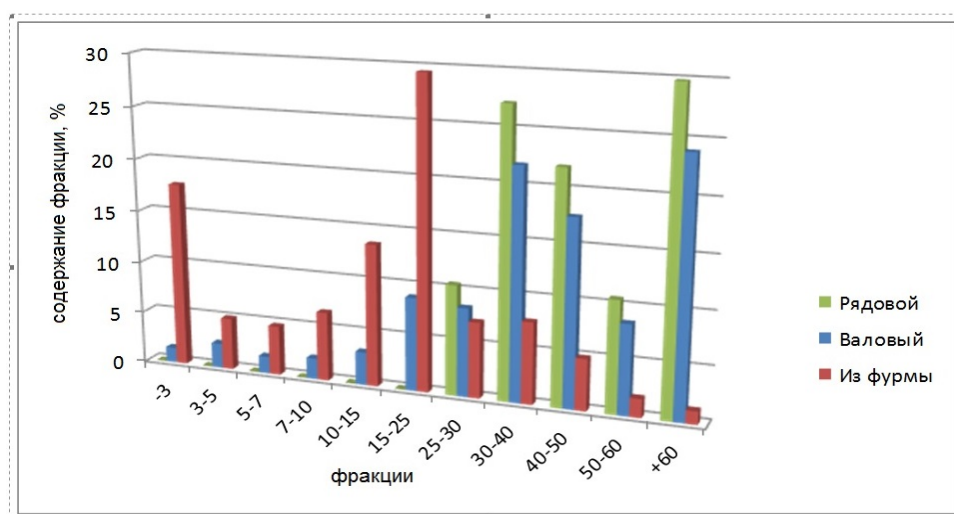


Рисунок 1 Ситовый состав различных видов кокса

Таблица 4

Кажущаяся плотность кокса

№ образца	Размер, мм	Масса, г	Объём, см ³	ρ_k , г/см ³
1	37	13,0	15	0,867
2	34	15,6	20	0,78
3	37	6,75	10	0,675
4	29	11,4	12	0,95
5	43	32,5	35	0,93
6	52	43,1	53	0,81
7	48	34,3	32	1,07
8	55	54,8	58	0,94
9	52	31,3	32	0,97
10	50	47,7	50	0,954
Среднее				0,895

Насыпная плотность кокса определялась по стандартной методике. Навеску материала загружали до краёв в ёмкость известного объёма и массы и по формуле определяли насыпную плотность:

$$\rho_n = \frac{m_{\text{общая}} - m_{\text{ёмкости}}}{V_{\text{ёмкости}}}, \quad (3)$$

где $m_{\text{общая}}$ — масса сосуда с коксом; $m_{\text{ёмкости}}$ — масса ёмкости, $V_{\text{ёмкости}}$ — объём ёмкости.

Измерения производились для четырёх образцов: калиброванный кокс (крупность 50–60 мм); рядовой кокс, загружаемый в доменную печь (крупность +25 мм); валовый кокс без отсева; кокс, отобранный через амбразуру фурменного прибора. Результаты представлены в таблице 5. Из неё видно, что порозность кокса в зависимости от гранулометрического состава изменяется в широких пределах (0,22–0,58). Следует

отметить, что кокс «из фурмы», имеющий наименьшую порозность, содержит большое количество фракции — 3 мм (табл. 3, рис. 1), которая, вероятно, образовалась в результате его горения в фурменном очаге. Данная фракция при нормальной работе доменной печи не попадает в горн, а полностью сгорает. Поэтому нельзя считать, что в металлоприёмнике доменной печи коксовая насадка обладает такой низкой порозностью. Также невозможно нахождение в горне кокса с порозностью выше 0,52, так как механические разрушения, расходование углерода на реакции Будуара и прямого восстановления элементов увеличивают в нём содержание мелких фракций.

По мнению авторов, на основании проведённой работы, порозность кокса в горне доменной печи колеблется в пределах 0,3–0,45 в зависимости от условий работы агрегата.

Таблица 5

Порозность кокса

Вид кокса	ρ_n , кг/м ³	ε
Калиброванный	378,8	0,58
Рядовой	391,4	0,56
Валовый	426,8	0,52
«Из фурмы»	700,8	0,22

На доменной печи № 3 ПАО «АМК» объёмом 1386 м^3 при выносе фурмы через амбразуру из-за прекращения подачи дутья вышло большое количество шлака, который попал в поддоменник и там затвердел без дегазирования. Взятые образцы оказались лёгкими, пористыми, что даёт основания утверждать о вспененности шлака в горне (рис. 2, табл. 6).

Из-за большого размера пор вспененного шлака было решено отказаться от метода парафинирования при определении кажущейся плотности образцов. Вместо обволакивания кусков материала парафином, применяли покрытие образцов тонкой полимерной плёнкой. В остальном методика соответствовала применённой при определении кажущейся плотности кокса.

Полученная кажущаяся плотность образцов не соответствует плотности в металлоприёмнике, поскольку находящийся в порах горнового шлака газ сжат избыточным давлением, из-за чего при выходе расплава из печи происходит расширение пор. Для пересчёта кажущейся плотности в условиях горна доменной печи было применено уравнение Менделеева-Клайперона (при $n = \text{const}$).

При вычислениях были приняты следующие параметры: температура в горне доменной печи 1873 К , температура кристаллизации шлака 1723 К , давление в горне печи 405300 Па , а атмосферное — 101325 Па . При нахождении объёма в куске шлака принимали истинную плотность шлака 2600 кг/м^3 .



Рисунок 2 Горновой шлак

Таблица 6

Параметры образцов шлака

№ образца	Масса, кг	Объём, м^3
1	0,236	$3,75 \times 10^{-4}$
2	0,28	$7,2 \times 10^{-4}$

Зная истинную плотность шлака и массу куска шлака, нашли его объём. После чего определили объём пор путём вычитания кажущегося объёма из объёма куска шлака. По уравнению Менделеева-Клайперона был найден объём пор шлака в горне доменной печи.

Объём твердого шлака в образце находили по формуле:

$$V_{\text{шл.тв.}i} = \frac{m_i}{\rho}, \quad (4)$$

где $V_{\text{шл.тв.}i}$ — объём твёрдого шлака в образце, м^3 ; m_i — масса образца, кг; ρ — истинная плотность шлака, кг/м^3 .

Объём пор в «холодных» образцах равен:

$$V_{\text{пор},i} = V_{\text{образца},i} - V_{\text{шл.тв.}i}, \quad (5)$$

где $V_{\text{пор},i}$ — объём пор в «холодном» образце; $V_{\text{образца},i}$ — объём «холодного» образца.

По уравнению Менделеева-Клайперона при постоянном количестве вещества найдём объём пор шлака в горне доменной печи:

$$V_{\text{пор-г},i} = \frac{P_{\text{атм}} \cdot V_{\text{пор},i} \cdot T_{\text{печи}}}{T_{\text{затв}} \cdot P_{\text{печи}}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{атм}}$ — атмосферное давление, Па; $P_{\text{печи}}$ — давление в горне печи, Па; $V_{\text{пор-г},i}$ — объём пор «горячего» образца (в горне печи), м^3 ; $T_{\text{затв}}$ — температура затвердевания шлака, К; $T_{\text{печи}}$ — температура в горне доменной печи, К.

Найдём кажущуюся плотность шлака в горне доменной печи:

$$\rho_{\text{каж.шл.}i} = \frac{m_i}{V_{\text{пор-г},i}}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{каж.шл.}i}$ — кажущаяся плотность шлака в условиях горна доменной печи.

По результатам расчётов была определена кажущаяся плотность шлака в горне доменной печи. В среднем по двум образцам она составила 1205 кг/м^3 .

Так как шлак находится в горне в межкусковых промежутках кокса, то определение порозности кокса в горне и реальной кажущейся плотности шлака позволит измерить уровень шлака в горне.

Выводы:

1. Установлено, что для определения объёмного баланса продуктов плавки в

горне доменной печи необходимы точные значения порозности горнового кокса и кажущейся плотности вспененного шлака.

2. Определена порозность различных видов кокса, которая колеблется в пределах $0,22-0,58$. По мнению авторов, порозность коксовой насадки в горне доменной печи находится в пределах $0,3-0,45$.

3. В ходе проведённых исследований определена кажущаяся плотность вспененного шлака и произведён её пересчёт для условий горна доменной печи. По результатам опытов средняя кажущаяся плотность составила 1205 кг/м^3 .

Библиографический список

1. Новохатский, А. М. Влияние режима выпусков продуктов плавки на показатели работы доменной печи [Текст] / А. М. Новохатский, А. М. Блинов, Г. Д. Михайлюк // Сталь. — 2017. — № 4. — С. 12–15.

2. Вегман, Е. Ф. Краткий справочник доменщика [Текст]: справочник / Е. Ф. Вегман. — М. : «Металлургия», 1981. — 246 с.

© Новохатский А. М.

© Блинов А. М.

© Бобров А. Ю.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н., консультантом по вопросам качества кокса и технологии доменной плавки Филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС», к.т.н. Кузьменко В. Ф.

Статья поступила в редакцию 05.03.18.

д.т.н. Новохатський О. М., Блинов О. М., Бобров О. Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, bat_10_89@mail.ru)

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ В ГОРНІ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

В даній роботі розглянуто гранулометричний склад і порозність різних видів коксу: каліброваного, рядового, валового, коксу фурменої зони. Крім того, було визначено уявну щільність шлаку, що знаходиться в нижній частині доменної печі під час плавки.

Ключові слова: доменна піч, горн, кокс, шлак, порозність коксу, щільність шлаку.

Doctor of Tech. Sc. Novohatskiy A. M., Blinov A. M., Bobrov A. Yu. (DonSTU, Alchevsk, LPR, bat_10_89@mail.ru)

PHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS IN THE BLAST-FURNACE HEARTH

The paper concentrates on a grain fineness and porosity of different kinds of coke: sized, run-of-oven, bulk, tuyere-zone coke. Besides, there has been determined the apparent density of slag located at the bottom of blast-furnace at melting.

Key words: blast-furnace, hearth, coke, slag, porosity of coke, density of slag.