

УДК 669.162.263

И.В. МИШИН (аспирант), **Ю.Л. КУРБАТОВ** (канд.техн.наук, проф.),
С.Л. ЯРОШЕВСКИЙ (д-р техн.наук, проф.)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ФУРМЕННОЙ ЗОНЫ

Исследованы процессы нагрева чугуна и шлака в фурменной зоне доменной печи, разработана методика определения степени черноты применительно к условиям работы доменной технологии.

Ключевые слова: температура чугуна, теоретическая температура горения, степень черноты, пылеугольное топливо.

Введение

Конечными продуктами доменной технологии являются жидкие чугун и шлак. Температура продуктов плавки характеризует один из важнейших показателей теплового состояния доменной печи – физический нагрев горна [1].

Анализ последних исследований и публикаций

Известно, что для печей с разным уровнем технологии, разными расходами кокса, дутьевыми параметрами и видом применяемого сырья температура чугуна на выпуске колеблется в пределах 1450-1500°C, а шлака – на 50°C выше. Температура чугуна тесно коррелирует с такими показателями доменного процесса как содержание кремния в чугуне [Si], основность шлака b , степень прямого восстановления железа r_d . На практике, обычно, используют эмпирические формулы, основанные на статистических исследованиях при длительных кампаниях печи.

Примером может служить предложенная в начале XX века исследователями Ройстером и Джозефом формула определения температуры чугуна t на выпуске [2]:

$$t = 1521 + 30 \cdot (S) - 61 \cdot B - 1666 \cdot [S], \quad (1)$$

где (S) – содержание серы в шлаке, % масс.; B – основность шлака, рассчитанная как отношение суммы %CaO и %MgO к сумме %Al₂O₃ и %SiO₂, содержащихся в шлаке; $[S]$ – содержание серы в чугуне, % масс.

Формула (1) даёт погрешность в результатах 5÷20°C при работе печей на коксе без дополнительных видов топлива. В работе [3] приведено усовершенствованное выражение, включающее ряд дополнительных параметров:

$$t = 1521 + 30 \cdot (S) - 61 \cdot B - 1666 \cdot [S] + 195 \cdot [Mn] + 28 \cdot [Si] - 2,3 \cdot [C] + 0,59 \cdot \omega - 200 \cdot L_{Ti} - 0,007 \cdot T_{\delta} \quad (2)$$

где $[Mn]$, $[Si]$, $[C]$ – содержание марганца, кремния и углерода в чугунае, % масс.; ω – содержание кислорода в дутье, доли ед.; L_{Ti} – отношение содержания титана в чугунае к содержанию TiO_2 в шлаке; T_{δ} – температура дутья, °С.

В таблице 1 представлены эмпирические формулы расчёта температуры чугуна на выпуске из печи.

Таблица 1 – Зависимость температуры чугуна от различных технологических факторов

Уравнение связи	Литературный источник
$t_{\text{выз}} = 58,55 \cdot [Si] - 1,55 \cdot r_d + 129,9 \cdot b + 1328 \quad (3)$	[4]
$\begin{cases} [Si] = 0,0048 \cdot t - 6,49 \\ [Si] = -0,0187 \cdot r_d + 1,34 \\ t = -3,077 \cdot r_d + 1,564 \end{cases} \quad \text{при } b = 1,17 \dots 1,22 \quad (4)$	
$t = \frac{\frac{[Si]}{(S)} + 132,11}{0,1117} \quad (5)$	
$t = \frac{[C] - 1,34 + 0,3 \cdot [Si]}{2,54 \cdot 10^{-3}} \quad (6)$	
	[5]

На рисунке 1 графически представлена зависимость (3) из таблицы 1 при постоянной степени прямого восстановления r_d .

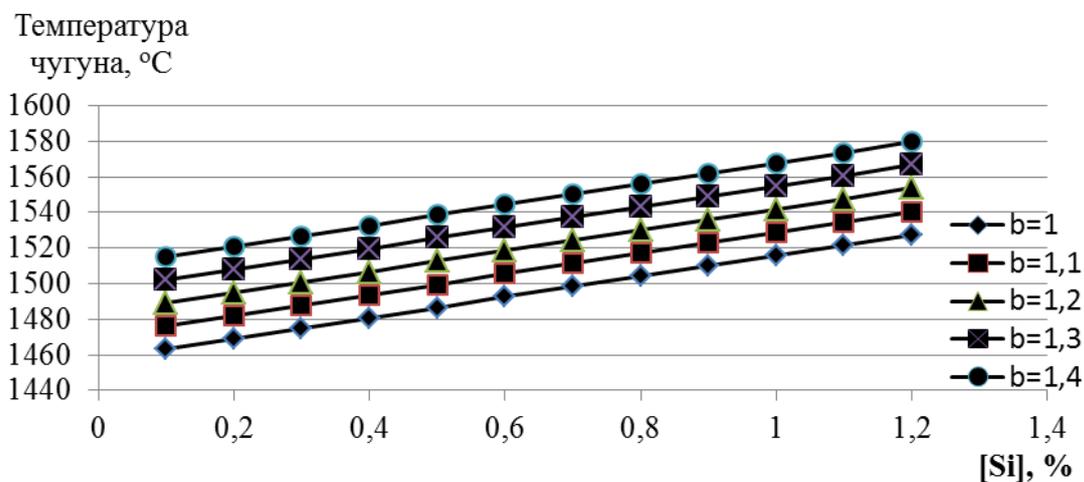


Рисунок 1 – Зависимость температуры чугуна на выпуске от содержания кремния в чугунае и основности шлака.

Температура чугуна, рассчитанная по эмпирическим формулам, может быть использована только для сравнения с измеренной температурой чугуна на выпуске с помощью пирометра или термопары погружения и не учитывает полностью всю технологию доменной плавки и возможность долгосрочного прогнозирования изменения температуры.

Первым теоретическую взаимосвязь температуры чугуна с технологическими параметрами работы печи обосновал Б.И. Китаев, основываясь на уравнении теплообмена нижней зоны доменной печи [6]:

$$t = \frac{W_z}{W_m} \cdot (t_2 - t_0) + t_0 - \Delta t - \frac{Q_c + Q_u \cdot G_{шл} + a \cdot r_d \cdot \sum_{i=1}^n b_i \cdot X_i}{W_{шл}}, \quad (7)$$

где W_z и W_m – водяные эквиваленты потока газа и материалов, Дж/(°С·кг); t_2 – теоретическая температура горения, °С; t_0 – температура газа на границе раздела верхней и нижней ступеней теплообмена; Δt – разница температуры газа и материала на границе раздела зон, °С; Q_c и Q_u – теплота плавления чугуна и шлака, Дж/кг; $G_{шл}$ – выход шлака, кг/кг чугуна; a – произведение теплового эффекта реакции прямого восстановления железа на процентное содержание железа в чугуне за вычетом металлодобавок, Дж/кг чугуна; r_d – степень прямого восстановления железа, доли ед.; b_i – тепловые эффекты реакций восстановления кремния, марганца и других элементов, Дж/кг элемента; X_i – содержание в чугуне элементов, восстанавливаемых прямым путём, % масс.

В приведённом выше уравнении задействовано большинство технологических параметров доменной плавки, что способствует получению достаточно достоверных результатов, но так как доменный процесс является высокотемпературным, при нагреве продуктов плавки не учтён теплообмен излучением в фурменной зоне при горении кокса, пылеугольного топлива (ПУТ) и природного газа (ПГ). Несмотря на то, что фурменная зона занимает только 1 % объёма доменной печи, в ней достигается наивысший уровень температур, через неё проходит до 40÷50 % жидких чугуна и шлака, а оставшиеся 50÷60 % фильтруются через коксовую насадку [7]. Исходя из вышесказанного, следует, что на нагрев чугуна может значительно оказывать излучение в фурменной зоне.

Постановка задачи исследования

Задачей исследования является разработка методики расчёта степени черноты в фурменной зоне и уровня перегрева продуктов плавки при прохождении через зону фурм, расчёт конечной температуры продуктов плавки на выпуске. В работе применены методы абстрагирования, анализа и синтеза, моделирования.

Основная часть

Температура чугуна и шлака на выпуске $t_{\text{выпуска}}$ состоит из доли продуктов плавки α , поступающих из фурменной зоны с температурой t_2 и доли продуктов плавки $1-\alpha$, стекающих по коксовой насадке с температурой $t_{\text{кн}}$. Температура коксовой насадки на уровне фурм в центре печи находится на постоянном уровне и равна температуре жидких чугуна и шлака на входе в фурменную зону t_1 . Таким образом

$$t_{\text{выпуска}} = \alpha \cdot t_2 + (1 - \alpha) \cdot t_{\text{кн}} \quad (8)$$

В производственных условиях, когда производится измерение температуры чугуна и шлака, усреднённая температура чугуна и шлака на выпуске может быть определена по следующей формуле:

$$t_{\text{выпуска}} = \frac{t_{\text{чуг}} \cdot E + t_{\text{шл}} \cdot U}{E + U}, \quad (9)$$

где $t_{\text{чуг}}$ – температура чугуна на выпуске, °С, $t_{\text{шл}}$ – температура шлака на выпуске, °С, U – выход шлака, кг/т чугуна, E – выход чугуна (годный чугун и скрап) кг/т чугуна.

В свою очередь температура продуктов плавки t_2 состоит из температуры чугуна и шлака T_1 и температуры перегрева излучением Δt при прохождении зоны фурм:

$$t_2 = \Delta t + t_1 \quad (10)$$

Температура T_1 определяется из теплового баланса нижней зоны, границами которой являются начало резервной зоны и t_1 . Температуры шихты и газа в резервной зоне по теории Б.И. Китаева в первом приближении равны и составляют 900°С. Для нахождения температуры t_1 необходимо определить температуру газов на выходе из фурменной зоны t_2 и количество тепла, передаваемого излучением.

Температура t_2 определяется из теплового баланса фурменной зоны [8]:

$$C_1 \cdot t_2 = \frac{C_0 \cdot t \cdot V_{22} \cdot (1 - Z_1) - Q_{\text{излучение}}}{V_{22}}, \quad (11)$$

где C_0 – теплоёмкость горновых газов при теоретической температуре горения t , кДж/м³ × °С, Z_1 – тепловые потери в фурменной зоне, доли ед., V_{22} – выход горновых газов, м³/т чугуна, $Q_{\text{излучение}}$ – затраты тепла на излучение, кДж/т чугуна, C_1 – теплоёмкость газов при температуре t_2 , кДж/м³ × °С.

Излучение в фурменной определяется по закону Стефана-Больцмана [8]:

$$Q_{\text{излучение}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot F \cdot n \cdot \left((t + 273)^4 - (t_{\text{ф}} + 273)^4 \right), \quad (12)$$

где, ε – степень черноты фурменной зоны, доли ед.; σ – постоянная Стефана-Больцмана, 5,67 · 10⁻⁸ Дж/(с · м² · К⁴), F – площадь поверхности фурменной

зоны, m^2 ; n – количество фурм, шт; t_{ϕ} – температура поверхности фурменной зоны, $^{\circ}C$ (принимается как температура кокса, дошедшего до фурм).

Количество фурм определяется в зависимости от диаметра горна и объёма печи. Площадь фурменного пространства в первом приближении рассчитывается как площадь шара:

$$A = \pi \cdot D^2, \quad (13)$$

где D – диаметр фурменной зоны, м.

Наиболее сложным для определения является степень черноты, так как через фурменную зону проходят жидкие чугуны и шлак, происходит горение пылеугольного топлива, кокса, природного газа, циркуляция кокса.

Степень черноты системы состоит из степени черноты запылённого потока – в нашем случае потока горения кокса, ПУТ, ПГ, мазута и степени черноты поверхности фурменной зоны, в свою очередь состоящей из степени черноты кокса, жидких чугуна и шлака.

Степень черноты запылённого потока ε рассчитывается по следующей методике [9]:

Выбирается вид топлива, участвующего в горении – уголь (тощий, газовый, антрацит). Выбирается коэффициент A , соответствующий виду топлива (табл. 2).

Таблица 2 – Значения коэффициента A для разных видов углей.

Вид угля	Коэффициент A	
	Золовая пыль	Угольная пыль
Тощий	0,12	-
Газовый	0,15	0,06
Антрацит	0,1	0,14
Бурый	0,15	-
Кокс	0,08	0,08

Определяется диаметр частиц золы топлива d , мкм и удельный вес пыли γ , $г/м^3$ [10].

Определяется температура запылённого газового потока $T_{потока}$, $^{\circ}C$.

Рассчитывается эффективный коэффициент ослабления k_n , доли ед.:

$$k_n = 0,42 \cdot \frac{A}{\gamma} \cdot 273 \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{T^2 \cdot d^2}} \quad (14)$$

Определяется плотность запылённого газового потока μ , $г/м^3$.

$$\mu = \frac{A^c \cdot G}{V_{22}}, \quad (15)$$

где A^c – содержание золы в используемом топливе, доли ед., G – расход топлива, $кг/т$ чугуна, V_{22} – выход горновых газов, $м^3/т$ чугуна.

Рассчитывается степень черноты газового потока ε , доли ед.:

$$\varepsilon = k_n \cdot \mu \cdot l, \quad (16)$$

где l – линейный размер частицы ПУТ, м.

При использовании дополнительного топлива, например, ПУТ, в фурменной зоне запылённый поток образуется частицами золы кокса и угля, поэтому необходимо сначала найти степень черноты для каждого вида топлива, а затем просуммировать найденные величины. Определение степени черноты поверхности фурменной зоны рассчитывается как отношение суммы произведений значений степени черноты жидких чугуна, шлака и кокса на их расход к сумме расходов чугуна, шлака и кокса:

$$\varepsilon_{\text{поверхности}} = \frac{\varepsilon_{\text{чугун}} \cdot G_{\text{чугун}} + \varepsilon_{\text{шлак}} \cdot G_{\text{шлак}} + \varepsilon_{\text{кокс}} \cdot G_{\text{кокс}}}{G_{\text{чугун}} + G_{\text{шлак}} + G_{\text{кокс}}}, \quad (17)$$

где $G_{\text{чугун}}$, $G_{\text{шлак}}$, $G_{\text{кокс}}$ – расходы чугуна, шлака, кокса, кг/т чугуна; $\varepsilon_{\text{чугун}}$, $\varepsilon_{\text{шлак}}$, $\varepsilon_{\text{кокс}}$ – степень черноты чугуна, шлака и кокса, доли ед.

Степень черноты фурменной зоны рассчитывается по следующей формуле [11, 12]:

$$\varepsilon_{\text{ф.з.}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{поверхности}}} - 1}, \quad (18)$$

Полученная степень черноты фурменной зоны позволяет определить количество тепла, передаваемого чугуно и шлаку излучением, а, следовательно, и температуру горновых газов на выходе из зоны фурм. Снижение температуры отходящих газов T_1 на выходе из фурменной зоны до зоны умеренных температур T_n будет соответствовать изменению нагрева шихты до уровня T_2 в данной области [13]:

$$t_2 = \frac{W_{\varepsilon}}{W_{\text{ш}}} \cdot (t_1 - t_n) + t_n \quad (19)$$

Данное уравнение позволяет с достаточной точностью определить уровень температуры жидких чугуна, шлака на входе в фурменную зону, так как через водяной эквиваленты шихты и газа учтены потери тепла через кладку печи, прямое восстановление железа, затраты тепла на плавление чугуна и шлака.

Расплавленные чугун и шлак, проходя через фурменную зону, подвергаются излучению и перегреваются на температуру Δt . Так как теплообмен конвекцией незначителен, то перегрев продуктов плавки можно определить по формуле:

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{изл}}}{W_{\text{шф.з}}}, \quad (20)$$

где $Q_{изл}$ – мощность излучения, кВт/с, $W_{шф.з.}$ – водяной эквивалент шихты в ФЗ, определяемый из выражения

$$W_{шф.з.} = G_{чуг} \cdot (C_{чуг} + C_{шл} \cdot U + C_{к} \cdot K), \quad (21)$$

где, $G_{чуг}$ – секундный расход чугуна, кг/с, U – выход шлака, кг/т чугуна, K – расход кокса, кг/т чугуна, $C_{чуг}$, $C_{шл}$, $C_{к}$ – теплоёмкости чугуна, шлака и кокса.

Для проверки правильности созданной методики был проведён расчёт для доменной печи объёмом 1033 м³ с применением окатышей ЛебГ ОК с содержанием железа 64 % и основностью 0,5 с разными периодами работы: на коксе без дополнительных видов топлива (К), с вдуванием ПГ (К+ПГ), ПГ и ПУТ (К+ПГ+ПУТ) и ПУТ (К+ПУТ) (таблица 3).

При расчёте приняты следующие допущения: при вдувании различных видов топлива размер фурменной зоны не меняется и составляет 0,9 м, степень черноты жидкого чугуна – 0,4, шлака – 0,55, кокса при температуре 1450°C – 0,9, температура на границе резервной и нижней зоны – 850°C.

Из таблицы 3 видно, что степень черноты фурменной зоны значительно изменяется при вдувании различных видов топлива. Так при работе печи на коксе и ПГ фурменная зона является оптически прозрачной ($\epsilon=0,04-0,05$), при вдувании ПУТ степень черноты увеличивается до 0,35 и более (при расходе ПУТ выше 200 кг/т чугуна). Температура продуктов плавки при работе печи на ПУТ возрастает на 20÷50°C, это связано с повышением уровня перегрева продуктов плавки в фурменной зоне, но следует отметить, что при вдувании ПГ конвективный теплообмен более развит – температура чугуна и шлака на входе в фурменную зону больше, чем при использовании ПУТ.

Выводы

Разработана методика определения степени черноты фурменной зоны. Показано, что наибольшая степень черноты, а, следовательно, и наибольшее количество тепла, передаваемого в виде излучения, достигается при вдувании ПУТ, наименьшее – при вдувании природного газа и работе доменной печи на коксе без дополнительных видов топлива.

Наибольший перегрев продуктов плавки при прохождении через фурменную зону происходит при вдувании ПУТ – 250-300°C, наименьший – при использовании ПГ – 50-100°C.

Температура жидких чугуна и шлака на выпуске при вдувании ПУТ в сравнении с режимом вдувания ПГ увеличивается незначительно – на 30-40°C, несмотря на развитый теплообмен излучением. Это связано с разной температурой продуктов плавки на входе в фурменную зону – при вдувании ПУТ, температура ниже на 100-150°C, чем при вдувании ПГ.

Дальнейшим направлением исследования следует считать нахождение связи между производительностью доменной печи и уровнем излучения в фурменной зоне [14].

Таблица 3 – Расчетная температура продуктов плавки при работе доменной печи с использованием различных дополнительных видов топлива.

Показатели работы доменной печи		Технологические режимы							
		К	К+ПГ			К+ПГ + ПУТ	К+ПУТ		
Объем печи, м ³	$V_{печи}$	1033							
Диаметр горна, м	D	7,2							
Количество фурм, шт.	n	16							
Производительность печи, т/сутки	$P_{сут}$	1950	2185	2430	2314	2066	2192	2324	2468
Расход кокса, кг/т чугуна	K	609	553	508	501	553	499	447	396
Зола в коксе, %	A^c	10,5							
Расход ПУТ, кг/т чугуна	$G_{ПУТ}$	0	0	0	50	50	100	150	200
Зола в ПУТ, %	$A^{ПУТ}$	10							
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	$G_{ПГ}$	0	50	100	50	0	0	0	0
Температура дутья, °С	T_d	1000							
Содержание кислорода в дутье, доли ед.	ω	0,23	0,228	0,23	0,228	0,228	0,228	0,23	0,23
Теоретическая температура горения, °С	$T_{теор}$	2197							
Степень прямого восстановления, доли ед.	r_d	0,50	0,38	0,31	0,37	0,46	0,42	0,39	0,36
Выход горновых газов, м ³ /т чугуна	$V_{гз}$	1963	1776	1620	1688	1863	1764	1673	1582
Степень черноты фурменной зоны	$\varepsilon_{ф.з.}$	0,04	0,05	0,05	0,15	0,17	0,21	0,29	0,35
Перегрев продуктов плавки, °С	Δt	23	22	20	140	140	224	295	340
Температура газов на выходе из фурменной зоны, °С	T_2	2012	2010	2011	1932	1937	1872	1813	1762
Температура чугуна и шлака на входе в фурменную зону, °С	T_1	1461	1460	1458	1416	1419	1382	1348	1316
Температура продуктов плавки на выпуске, °С	$T_{выпуска}$	1472	1471	1468	1486	1490	1504	1514	1521

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Бабич А.И. Интенсификация использования пылеугольного топлива в доменной плавке / А.И. Бабич, С.Л. Ярошевский, В.П. Терещенко. – К.: Техника, 1993. – 200 с.
2. Павлов М.А. Металлургия чугуна. Доменный процесс / М.А. Павлов. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1949. – 628 с.
3. Температурные критерии оценки и прогнозирования работы доменной печи / А.Е. Пареньков, С.Н. Падерин, Ю.С. Юсфин и др. // Дни науки МИСИС. – М.: МИСИС, 2008 – С. 45-51.
4. Дукарский С.М. Термометрия продуктов доменной плавки / С.М. Дукарский. – М.: Металлургия, 1976. – 120 с.
5. Туркенич Д.И. Управление плавкой стали в конверторе / Д.И. Туркенич. – М.: Металлургия, 1971. – 360 с.
6. Heat exchange in the hearth combined blast parameters / A. Formosa, O. Babich, H.W. Gudenau et al. // ISIJ International. – 1999. – № 11. – P. 1134-1139.
7. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса / Н.Н. Бабарыкин. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 257 с.
8. Кривандин В.А. Теплотехника металлургического производства / В.А. Кривандин. – М.: МИСИС, 2002. – Т 1. – 608 с.
9. Кутателадзе С.С. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1958. – 414 с.
10. Бабий В.И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В.И. Бабий, Ю.Ф. Куваев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
11. Теплотехника металлургического производства / Ю.Л. Курбатов, В.В. Кравцов, Н.С. Масс, Ю.В. Василенко. – Донецк: Ноулидж, 2011. – 218 с.
12. Гідрогазодинаміка у теплотехніці / Ю.Л. Курбатов, М.С. Масс, В.В. Кравцов, О.В. Новікова. – Донецьк: Норд-Пресс, 2009. – 234 с.
13. Контроль теплового состояния горна доменной печи / С.Л. Ярошевский, Я.С. Гайворонский, Н.Н. Попов. – К.: Техніка, 1968. – 184 с.
14. Мишин И.В. Анализ теплового режима горна на основе математической модели нижней зоны теплообмена доменной печи / И.В. Мишин, Ю.Л. Курбатов, З.К. Афанасьева // Металлургические процессы и оборудование. – 2012. – № 2. – С. 29-35.

Надійшла до редакції 11.10.2012

Рецензент канд. техн. наук, доц. Є.В. Штепан

І.В. Мішин, Ю.Л. Курбатов, С.Л. Ярошевський
Донецький національний технічний університет, Донецьк

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ГОРНА ДОМЕННОЇ ПЕЧІ З
УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ЧОРНОТИ ФУРМЕННОЇ ЗОНИ**

Досліджені процеси нагріву чавуну та шлаку у фурменій зоні доменної печі, розроблена методика визначення ступеня чорноти щодо умов роботи доменної технології.

Ключові слова: температура чавуну, теоретична температура горіння, ступінь чорноти, пиловугільне паливо.

I.V. Mishyn, U.L. Kurbatov, S.L. Yaroshevsky
Donetsk National Technical University, Donetsk

A STUDY OF BLAST FURNACE HEARTH THERMAL MODE TAKING INTO ACCOUNT TUYERE ZONE BLACKNESS

The paper deals with the processes of heating iron and slag in the blast furnace tuyere zone. Also the paper provides the methods for estimating the degree of blackness taking into account the conditions of blast technologies operation.

Keywords: temperature of iron, burning temperature, degree of blackness, pulverized coal.

УДК 669.162.252

В.А. КРАВЕЦ*(д-р техн.наук, доц.), **В.А. ТЕМНОХУД****(канд.техн.наук, доц.), **Ю.В. НАСАНОВА***

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, **Донецкий национальный технический университет, Донецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПЫЛИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

При переливах чугуна в доменных и сталеплавильных цехах, десульфурации чугуна и в ходе некоторых других технологических процессов выделяется графитсодержащая пыль, которая может быть ценным сырьём для получения материалов, используемых в авиационной, космической и электротехнической промышленности. В связи с этим проведены исследования свойств этой пыли и состава включений.

Ключевые слова: чугун, капельки металла, графит, пыль, бурый дым, гетерогенные включения, спектральный анализ, экспериментальное исследование.

Проблема и постановка задачи

При переливах расплава чугуна выделяется значительное количество пыли – около 0,05 % от массы переливаемого металла. Выделяющаяся пыль загрязняет окружающую среду и ухудшает санитарное состояние рабочих мест [1].

Переливы чугуна являются необходимым звеном технологии в чёрной металлургии. Каждая порция металла на пути от домны до сталеплавильного агрегата переливается 4 раза: при выпуске чугуна из доменной печи, при заливке в миксер, при сливе из миксера и при заливке в конвертер или мартен. При использовании миксерных чугуновозов число переливов сокращается до 3, но на Украине такая технология применяется только на Алчевском металлургическом комбинате [2].

Выделяющаяся пыль состоит из двух основных компонентов: на 10-20% из крупнодисперсной графитной пыли, которую легко уловить обычными циклонами, и на 75-85% из мелкодисперсного бурого дыма.