

УДК 669.162.221.:662.6/9

А.Л.Чайка¹⁾, В.Ю.Шостак¹⁾, А.А.Сохацкий¹⁾, Д.Н.Мирошниченко²⁾,
В.И.Диментьев³⁾

**ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛО-ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
ФУРМЕННОЙ ЗОНЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ВДУВАНИИ В ГОРН
ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА И ПРИРОДНОГО ГАЗА**

*Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины¹⁾
Марьупольский металлургический комбинат им. Ильича²⁾
Алчевский металлургический комбинат³⁾*

Целью работы является исследование особенностей тепло-газодинамической работы фурменной зоны доменной печи при переходе от технологии использования природного газа к технологии пылеугольного топлива (ПУТ). Установлены отличия подачи топливных добавок и тепловой работы фурменных очагов при сжигании ПУТ и природного газа. Установлена зависимость температурного потенциала горновых газов при сжигании пылеугольного топлива и теоретической температуры фурменной зоны от химического состава ПУТ. Наиболее сильное влияние на значение теоретической температуры оказывает содержание углерода и водорода в топливе.

Ключевые слова: доменная печь, фурменная зона, топливная добавка, пылеугольное топливо, теоретическая температура

Состояние вопроса. Опыт освоения пылеугольного топлива (ПУТ) на доменных печах Украины среднего объема $1500 \div 3000 \text{ м}^3$ в 2009–2015 годах и исследования, проведенные специалистами ИЧМ НАНУ, показали, что переход доменных печей от вдувания природного газа к применению ПУТ приводит к изменению условий протекания тепло-газодинамических процессов в печи, и, в частности, в фурменной зоне, что отражается на увеличении тепловых нагрузок на воздушные фурмы и шахту, на их сроке службы, устойчивости газодинамического режима плавки и ее технико-экономических показателях [1-5].

В процессе освоения технологии вдувания ПУТ произошли изменения способа и узлов подачи топливной добавки. Конструктивно изменился способ подачи топливной добавки в фурменную зону доменной печи. Подача природного газа (ПГ) производится периферийно к потоку дутья через отверстие в стенке фурмы, в то время как пылеугольное топливо подается через форсунку по оси фурмы (рис.1) [6]. Такой способ подачи топливной добавки в фурменную зону печи позволяет интенсифицировать процессы сжигания топлива [7-8]. Транспортировка и кинетика сжигания ПУТ и природного газа имеют существенные отличия [9]. Пылеугольное топливо представляет собой, в отличие от газообразного природного газа, газозвесь, – поток инертного газа с мелкодисперсным углем. Давление потока ПУТ при подаче в фурменную зону в 3 раза больше, чем давление природного газа.

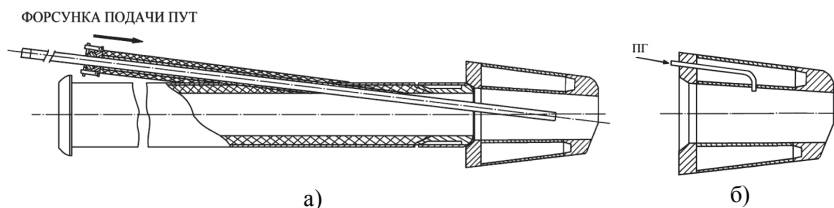


Рис.1 Устройства подачи топливных добавок в фурменную зону доменной печи:
а) - ПУТ, б) – ПГ

Целью работы является исследование особенностей теплогазодинамической работы фурменной зоны доменной печи при переходе от технологии использования природного газа к технологии пылеугольного топлива (ПУТ).

Изложение основных результатов исследований. Сопоставление факторов, которые влияют на тепловые и газодинамические условия работы фурм и фурменных очагов с ПУТ и природным газом при сопоставимом производстве показало, что эти условия кардинально отличаются, что требует проведения исследований развития теплогазодинамических процессов в фурменной зоне при вдувании ПУТ, кислорода и других топливных добавок (табл.1, 2). Исследования выполнялись по данным работы ДП №1 ПАО «АМК», полезным объемом 3000 м³, и ДП №4 ПАО «ММК им. Ильича», полезным объемом 2002 м³, за период 2011 – 2014 гг. (табл.1, 2).

Сравнение периодов работы ДП №1 ПАО «АМК» и ДП №4 ПАО «ММК им. Ильича» с ПГ и ПУТ при сопоставимом производстве показало, что массовый расход ПУТ в ~3 раза больше расхода ПГ, в то время как объёмный расход в 170÷180 раз меньше (табл.1, 2). Теоретическая температура горения уменьшилась в среднем на 35⁰С в сравнении с технологией работы с ПГ.

Объём вдуваемого пылеугольного топлива существенно меньше, чем объём подаваемого природного газа, при этом объём горновых газов, образованных при сжигании этих топлив в единицу времени соизмерим (табл.1, 2). Так, на 1 м³ топливной добавки объёмный выход горновых газов на ДП №1 ПАО «АМК» и ДП №4 ПАО «ММК им. Ильича» в 170 и в 180 раз соответственно больше при сжигании ПУТ в отличие от технологии работы с ПГ (табл.1, 2). При сопоставимом массовом выходе горновых газов на 1 кг топливной добавки объёмный выход горновых газов на 1 кг ПУТ в ~2,5 раза больше, в сравнении со сжиганием ПГ. Пылеугольное топливо имеет в 300 ÷ 500 раз большую плотность, чем природный газ. В газотранспортной системе плотность ПУТ перед подачей на фурменный прибор может изменяться в 2 и более раза.

Таблица 1. Дутьевой и газодинамический режим работы ДП № 4 ПАО «ММК им. Ильича» с использованием ПУТ и природного газа при сопоставимом производстве чугуна ~3350 т/сут.

Наименование параметра	ПУТ	ПГ	Примечания
Производ-сть печи, $t_{\text{чуг}}/\text{сутки}$	3100 ÷ 3600		сопоставимо
Расход топливной добавки и выход газов от ее сжигания:			
массовый расход, т/час	18 ÷ 22	7 ÷ 8	ПУТ в 2,7 раза > ПГ
объемный расход, $m^3/\text{час}$	50 ÷ 65	11100 ÷ 12200	ПУТ в 200 раз < ПГ
объемный выход горновых газов, тыс. $m^3/\text{час}$	267,5 ÷ 293,8	300,9 ÷ 316,7	сопоставимо
Удельный выход дымовых газов при сжигании топливной добавки:			
объемный на 1кг топливной добавки, $m^3/\text{кг}$	12,6 ÷ 15,1	38,6 ÷ 41,7	ПГ в 2,9 раза > ПУТ
объемный на $1m^3$ топливной добавки, m^3/m^3	4416 ÷ 5300	25,5 ÷ 27,6	ПУТ в 180 раз > ПГ
Азот на транспортировку ПУТ и охлаждение копия, $m^3/\text{час}$	300 ÷ 400	Нет	
Давление ПУТ И ПГ, ати	15 ÷ 16	5 ÷ 6	ПУТ в 3 раза > ПГ
Удельный расход топливной добавки на $1 m^3$ кислорода:			
объемный к суммарному расходу кислорода, m^3/m^3	0,0011 ÷ 0,0013	0,21 ÷ 0,22	ПУТ в 180 раз < ПГ по объему
массовый к суммарному расходу кислорода, $кг/m^3$	0,38 ÷ 0,44	0,14 ÷ 0,15	ПУТ в 2,9 раза > ПГ по массе
Теоретическая температура горения по результатам расчета ИЧМ, $^{\circ}\text{C}$	2022 ÷ 2070	2060 ÷ 2095	при ПУТ в среднем на 30°C ниже, чем ПГ
Рудная нагрузка на кокс, т/т	3,0 ÷ 3,5	3,4 ÷ 3,5	ПУТ в 1,1 > ПГ
Дутьевой режим и газодинамические параметры в печи:			
объемный расход дутья, $m^3/\text{мин}$	3460 ÷ 3760	3750 ÷ 3930	сопоставимо
температура дутья, $^{\circ}\text{C}$	1005 ÷ 1080	1070 ÷ 1080	сопоставимо
давление горячего дутья, ати	2,2 ÷ 2,4	2,3 ÷ 2,5	сопоставимо
давление под колошником, ати	1,1 ÷ 1,2	1,1 ÷ 1,3	ПУТ на 10% < ПГ
концентрация O_2 в дутье, %	22,1 ÷ 23,1	22,4 ÷ 22,9	сопоставимо
Химический состав колошникового газа:			
Содержание CO_2 , %	14,3 ÷ 15,9	15,1 ÷ 16,1	при ПУТ < на 1%
Содержание CO , %	24,4 ÷ 25,2	23,6 ÷ 24,4	при ПУТ > на 1%
Содержание H_2 , %	4,5 ÷ 5,5	5,0 ÷ 6,6	при ПУТ < на 1%

Таблица 2. Дутьевой и газодинамический режим работы ДП № 1 ПАО «АМК» с использованием ПУТ и природного газа при сопоставимом производстве чугуна ~5500 т / сутки.

Наименование параметра	ПУТ	ПГ	Примечания
Производительность ДП, т/сут.	5000 ÷ 6000		сопоставимо
Расход топливной добавки и выход газов от ее сжигания:			
массовый расход, т/час	30 ÷ 40	11 ÷ 13	ПУТ в 3 раза > ПГ по массе
объемный расход, м ³ /час	90 ÷ 120	16810 ÷ 19845	ПУТ в 170 раз < ПГ по объему
объемный выход горновых газов, тыс. м ³ /час	359,7 ÷ 391,9	376,9 ÷ 418,3	сопоставимо
Удельный выход дымовых газов при сжигании топливной добавки:			
массовый на 1 кг топливной добавки, кг/кг	2,3	2	сопоставимо
объемный на 1 кг топливной добавки, м ³ /кг	1,7	4,2	ПГ в 2,5 раза > сем ПУТ
объемный на 1 м ³ топливной добавки, м ³ /м ³	510	3	ПУТ в 170 раз > ПГ
Азот на транспортировку ПУТ и охлаждение копия, м ³ /час	3330 ÷ 3500	нет	
Давление ПУТ И ПГ, ати	15 ÷ 16	5 ÷ 6	ПУТ в 3 раза > ПГ
Удельный расход топливной добавки на 1 м ³ кислорода:			
объемный к суммарному расходу кислорода, м ³ /м ³	0,0013 ÷ 0,0014	0,23 ÷ 0,25	ПУТ в 175 раз < ПГ по объему
массовый к суммарному расходу кислорода, кг/м ³	0,41 ÷ 0,5	0,15 ÷ 0,17	ПУТ в 2,8 раза > ПГ по массе
Теоретическая температура горения:			
по данным тех.отчета комбината, °С	2088 ÷ 2136	2115 ÷ 2175	при ПУТ в среднем на 30 оС ниже, чем ПГ
по результатам расчета ИЧМ, °С	2073 ÷ 2092	2109 ÷ 2155	при ПУТ в среднем на 35 оС ниже, чем ПГ
Рудная нагрузка на кокс, т/т	4,3 ÷ 4,6	3,6 ÷ 3,7	ПУТ в 1,2 раза выше, чем при ПГ
Дутьевой режим и газодинамические параметры в печи:			
объемный расход дутья, м ³ /мин	4525 ÷ 4835	4550 ÷ 4995	сопоставимо
температура дутья, °С	1078 ÷ 1117	1072 ÷ 1131	сопоставимо
давление горячего дутья, ати	2,3 ÷ 2,9	2,7 ÷ 3,1	ПУТ на 10% меньше, чем ПГ
давление под колошником, ати	0,8 ÷ 1,3	1,3 ÷ 1,5	ПУТ на 30% меньше, чем ПГ
концентрация кислорода в дутье, %	24,7 ÷ 25,9	24,7 ÷ 25,3	сопоставимо
Химический состав колошникового газа:			
Содержание СО ₂ , %	20,81 ÷ 21,93	22,76 ÷ 23,76	при ПУТ < на 2%
Содержание СО, %	23,83 ÷ 24,94	18,78 ÷ 19,74	при ПУТ > на 5%
Содержание Н ₂ , %	2,89 ÷ 3,41	5,71 ÷ 6,37	при ПУТ < на 3%

При работе с ПУТ содержание H_2 в колошниковом газе уменьшилось на ~3%, CO_2 уменьшилось на ~2%, а CO увеличилось на ~5% при сопоставимом расходе дутья. Сравнение периодов работы ДП № 1 ПАО «АМК» и ДП № 4 ПАО «ММК им. Ильича» с ПГ и ПУТ при сопоставимом производстве показало, что массовый расход ПУТ в ~3 раза больше расхода ПГ, в то время как объёмный расход в 170÷180 раз меньше. Теоретическая температура горения уменьшилась в среднем на $35^{\circ}C$ в сравнении с технологией работы с ПГ.

Объём вдуваемого пылеугольного топлива существенно меньше, чем объём подаваемого природного газа, при этом объём горновых газов, образованных при сжигании этих топлив в единицу времени соизмерим. Так, на 1 м^3 топливной добавки объёмный выход горновых газов на ДП № 1 ПАО «АМК» и ДП № 4 ПАО «ММК им. Ильича» в 170 и в 180 раз соответственно больше при сжигании ПУТ в отличие от технологии работы с ПГ. При сопоставимом массовом выходе горновых газов на 1 кг топливной добавки объёмный выход горновых газов на 1 кг ПУТ в ~2,5 раза больше, в сравнении со сжиганием ПГ.

Пылеугольное топливо имеет в $300 \div 500$ раз большую плотность, чем природный газ. В газотранспортной системе плотность ПУТ перед подачей на фурменный прибор может изменяться в 2 и более раза. Давление потока ПУТ при подаче в фурменную зону в 3 раза больше, чем давление природного газа. При работе с ПУТ содержание H_2 в колошниковом газе уменьшилось на ~3%, CO_2 уменьшилось на ~2%, а CO увеличилось на ~5% при сопоставимом расходе дутья.

Увеличение объёма горновых газов при сжигании ПУТ и изменение его химического состава, в сравнении с ПГ, а также колебание плотности потока ПУТ может приводить к возникновению таких явлений, как пульсации, что вводит дополнительные возмущения в доменную плавку и может отрицательно влиять на ровность хода доменной печи. Этот вопрос является предметом дальнейших исследований.

Параметр, характеризующий температурный потенциал фурменной зоны, которым руководствуются при ведении доменной плавки, является теоретическая температура горения топлива в фурменных очагах доменной печи [10-13].

На сегодняшний день в доменном производстве Украины нет единой методики расчета температуры горения в фурменном очаге и учета влияния на нее химического состава ПУТ, который, в отличие от природного газа, изменяется в широких пределах по содержанию углерода, серы, золы и летучих [7,14,15]. Это затрудняет оценку влияния температурного потенциала фурменных газов на показатели работы доменных печей с применением ПУТ разных комбинатов.

Для условий работы ДП №1 ПАО «АМК» (табл.3.) ниже приведен расчет зависимости теоретической температуры при применении разных марок углей по модели ИЧМ НАНУ (табл.4.) [16].

Таблица 3. Состав и параметры дутья на ДП №1 ПАО «АМК» и ДП №4 ПАО «ММК им. Ильича»

Параметры	ДП №1 ПАО «АМК»	ДП №4 ПАО «ММК им. Ильича»
Дутьевые параметры:		
Расход дутья, м ³ /мин.	4546	3660
Температура горячего дутья, °С	1115	1087
Содержание кислорода в дутье, %	24,5	22,74
Давление дутья, ати	2,5	2,4
Расход ПУТ, т/час	36	20
Содержание влаги в дутье, г/м ³	5,1	4,8
Количество фурм	28	24
T _{теор.} , °С	2077	2075
Химический состав ПУТ из углей марки СС, содержание		
С в ПУТ, %	83,92	83,92
H ₂ В ПУТ, %	4,74	4,74
O ₂ В ПУТ, %	3,52	3,52
N ₂ в ПУТ, %	2,25	2,25
золы в ПУТ, %	5,39	5,39
серы в ПУТ, %	0,18	0,18
летучих в ПУТ, %	19,84	19,84

Таблица 4. Химический состав углей различных марок

Марка угля	Состав сухой массы, %						
	Углерод	Водород	Кислород	Сера	Влага	Азот	Зола
Бурый Б	56,1	3,3	18,5	0,3	0,0	0,9	20,9
Д	62,1	4,4	10,4	3,9	0,0	1,2	17,9
Г	66,2	4,2	6,6	3,5	0,0	1,0	18,5
Ж	67,5	4,0	4,3	2,9	0,0	1,1	20,1
К	70,5	3,8	2,5	2,9	0,0	1,1	19,1
Тош	73,7	3,3	1,1	2,7	0,0	1,1	18,0
ПА	75,7	2,9	1,5	2,0	0,0	1,0	16,9
АШ	75,9	1,5	2,0	1,8	0,0	0,8	18,0
АП, Ак	88,6	1,6	1,1	1,8	0,0	0,9	6,0
СС*	81,8	3,9	5,5	0,3	0,0	1,3	7,3
А*	80,6	4,3	6,2	0,3	0,0	1,4	7,3
ГГ*	73,6	6,9	9,7	0,3	0,0	2,3	7,3
ДГ*	82,7	3,6	5,0	0,3	0,0	1,2	7,3

* - состав ПУТ по данным ПАО «АМК» и ПАО «ММК им. Ильича»

Уравнение для расчета теоретической температуры горения имеет вид [16]:

$$T_{FO} = \frac{Q_K + Q_T + Q_{TK} + Q_{TD} + Q_{DT} - Q_{ВД}}{\sum V_{Gi} c_i^{\Phi}}$$

В данное выражение входят: Q_K – приход тепла от сжигания кокса, кДж; Q_T – приход тепла от сжигания дополнительного топлива, кДж; Q_{TK} – теплосодержание кокса, поступающего на фурмы, кДж; Q_{TD} – теплосодержание горячего дутья, кДж; Q_{DT} – теплосодержание дополнительного топлива, кДж; $Q_{ВД}$ – расход тепла на разложение влаги дутья, кДж; V_{Gi} – объем, занимаемый компонентами горнового газа, м³; c_i^{Φ} – средняя теплоемкость компонентов горнового газа, кДж/м³.

Приход тепла от сжигания пылеугольного топлива рассчитывался по формуле Менделеева:

$$Q_{TD} = 24,6C^P - 43H^P - 26O^P + 7S^P - 16,5W^P,$$

где C^P , H^P , O^P , S^P , W^P обозначают соответственно массовое содержание углерода, водорода, кислорода, серы и влаги в топливе [17].

Расход необходимого количества кислорода на сжигание пылеугольного топлива производится по формуле, учитывающей химический состав ПУТ [17]:

$$F_{O_2} = 0.01(1.33C^P + 8H^P - O^P + S^P)$$

На рис.2 представлены результаты сравнения этих расчетов с результатами расчета теоретической температуры, которые получены по формулам ПАО «АМК», ПАО «ММК им. Ильича», и линейному уравнению, предложенному Ю.А.Приходько [15,16].

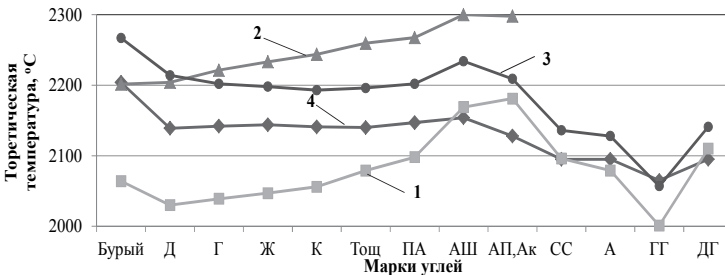


Рис.2. Изменение теоретической температуры горения топлива от состава ПУТ

1 – по балансовой теплоэнергетической модели фурменной зоны, 2 – по методике расчета Ю.А. Приходько, 3 – по модели расчета на ПАО «ММК им. Ильича», 4 – по модели расчета на ПАО «АМК»

Выполненные исследования показали, что расчетная величина теоретической температуры горения может отличаться на 100⁰С и не

может быть использована для анализа отличий в тепловой работе доменных печей разных комбинатов. Наибольшее влияние на значение теоретической температуры оказывает содержание углерода и водорода в топливе. Так, увеличение содержания углерода и водорода на 1% увеличивает на 10°C и уменьшает на 35°C теоретическую температуру соответственно. Влияние остальных химических элементов менее значительное – увеличение содержания кислорода, азота, серы и золы увеличивают теоретическую температуру в среднем на $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ на 1% содержания элемента (рис.3). Отдельными точками на графиках приведено значение теоретической температуры при работе доменных печей на ПУТ марки «СС».

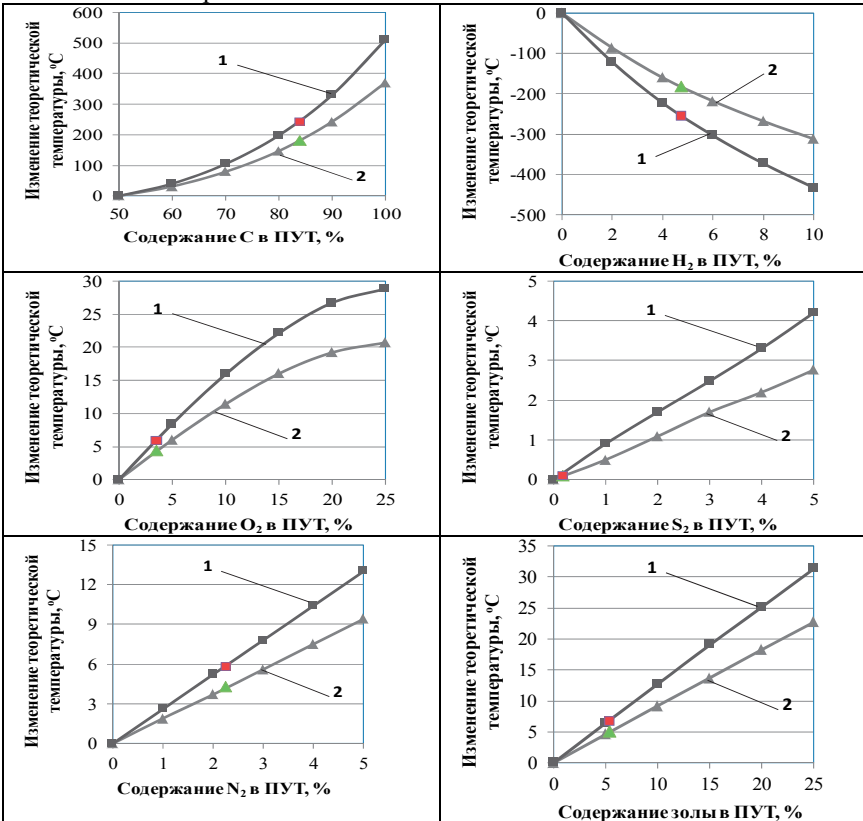


Рис.3. Влияние химического состава ПУТ на теоретическую температуру горения 1 – ДП №4 ПАО «ММК им. Ильича», ▲ – значение T_T для ПУТ марки СС; 2 – ДП №1 ПАО «АМК», ■ – значение T_T для ПУТ марки СС

Заключение

Освоение доменной плавки с использованием пылеугольного топлива и увеличение эффективности использования природного газа требует развития теоретической и практической базы, описывающей процесс сжигания топлива в доменной печи, с учетом современных технических решений его подачи в горн через фурменные приборы.

Сопоставительный анализ работы доменных печей, имеющих одинаковую производительность при вдувании ПУТ и природного газа, показал, что при сжигании ПУТ можно ожидать увеличение пульсаций, так как объем газов, выделяемых от сжигания пылеугольного топлива, отличается от аналогичных условий при сжигании ПГ в 170 раз, а плотность ПУТ в газотранспортной системе перед подачей на фурменный прибор может изменяться в 2 и более раза. Можно ожидать увеличение неполноты сжигания топливной добавки, так как отношение массового расхода ПУТ на кубометр кислорода ($\text{кг}/\text{м}^3$) почти в $\sim 2,5$ раза больше чем объемный расход ПГ на эту же величину кислорода ($\text{м}^3/\text{м}^3$).

Выполненные исследования показали, что на металлургических комбинатах Украины нет единой методики расчета теоретической температуры горения в фурменной зоне доменной печи и, как следствие, ее расчетная величина может отличаться на 100°C и не может быть использована для анализа отличий в тепловой работе доменных печей разных комбинатов.

В процессе исследования установлены отличительные особенности подачи топливных добавок и тепловой работы фурменных очагов при сжигании ПУТ и природного газа. Уточнена методика расчета и установлено влияние химического состава ПУТ на температуру фурменной зоны доменной печи и расход кислорода на его сжигание. Показана степень влияния содержания химических компонентов в топливе на значение теоретической температуры. Наиболее сильное влияние на значение теоретической температуры оказывает содержание углерода и водорода в топливе.

1. *Освоение работы доменной печи, полезным объемом 3000 м^3 , с применением пылеугольного топлива / В.И.Большаков, А.Л.Чайка, В.В.Лебедь и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 4. – С.36-40.*
2. *Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива на доменных печах Украины / В.И.Большаков, А.Л.Чайка, В.В.Лебедь, А.А.Сохакцкий // Металл и литье Украины. – 2013. – № 10. – С. 5-10.*
3. *Тепловая работа и перспективные конструкции шахты и металлоприемника доменной печи при применении пылеугольного топлива / В. И. Большаков, А. В. Бородулин, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь, А. А. Сохакцкий, Г. В. Панчоха // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – № 3.*
4. *Влияние технологии применения пылеугольного топлива на показатели тепловой работы доменной печи, полезным объемом 3000 м^3*

- / В.И.Большаков, А.Л.Чайка, В.В. Лебедь, А.А.Сохацкий, А.А.Жеребедский, В.Н.Диментьев // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* – 2014. – Вып. 29. – С. 31 – 40.
5. *Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива в доменном производстве Украины* / В.И.Большаков, А.Л.Чайка, В.В.Лебедь, А.А.Сохацкий // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2015. – № 2. – С. 6-11.
 6. *Разработка* и промышленные испытания эффективных узлов ввода пылеугольного топлива и природного газа в фурменные приборы доменной печи / Приходько Ю.А., Товаровский И.Г., Можаренко Н.М., Касаткин А.А. // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сборник научных трудов ИЧМ, Киев:Наукова думка, 1995, вып. 1.*
 7. *Промышленная технология вдувания пылеугольного топлива в горн доменной печи*// Приходько Ю.А., Ульянов А.Г., Носков В.А., Касаткин А.А.// *Черная металлургия. Наука – технология – производство. Тематический сборник научных трудов ИЧМ под ред. И.Г. Узлова*// М.:Металлургия, 1989
 8. *Товаровский И.Г., Лялюк В.П.* Эволюция доменной плавки. – Днепр. «Пороги», 2001. – 424 с.
 9. *Динамика горения пылевидного топлива* / Т.В.Виленский, Д.М.Хзмалян // – М.: Энергия, 1977.-248с.
 10. *Домна в энергетическом измерении* / А.В.Бородулин, А.Д.Горбунов, Г.И.Орел, В.И.Романенко и др. – Кривой Рог: Издательство СП «Мира» – 2004г. – 436 с.
 11. *Топливо и топливное хозяйство металлургических заводов* / И.Д.Семикин, С.И.Аверин, И.И.Радченко – М.: Металлургия, 1965. – 391 с.
 12. *Рамм А.Н.* Современный доменный процесс. – М.: «Металлургия», 1980. – 304 с.
 13. *Металлургия чугуна.* / Е.Ф.Вегман, Б.Н.Жеребин, А.Н.Похвиснев и др. – М.: Металлургия, 1989. – 512 с.
 14. *Расчет теоретической температуры горения в горне доменной печи при вдувании пылеугольного топлива* / С.А.Анищенко, А.А.Томаш, В.П.Кравченко // *Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць.* – Сб.трудов ПДТУ. – Маріуполь, 2010. – Вип. 20. – С.25-28.
 15. *Приходько Ю.А.* К вопросу о целесообразных режимах комбинированого дутья с использованием пылеугольного топлива // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1983 – № 3(129). – С.5-7.
 16. *Аналитические исследования процессов в фурменной зоне и их приложения* / А.Л.Чайка, А.Л.Ручаевский, А.В.Лычев, А.П.Васильев, А.Г.Байбуз // *Черные металлы. Материалы конференции к 100 летию А.Н. Рамма.* – 2003. – №12. – С.8-13.
 17. *Равич М.Б.* Топливо и эффективность его использования // М.: Наука, 1971. – 358 с.

*Статья рекомендована к печати
Докт.техн.наук А.В.Бородулиным*

*О.Л.Чайка, В.Ю.Шостак, О.А.Сохацький, Д.М.Мірошниченко,
В.І.Діментєв*

Особливості тепло-газодинамічної роботи фурменної зони доменної печі при вдуванні в гори пиловугільного палива та природного газу

Метою роботи є дослідження особливостей тепло-газодинамічної роботи фурменної зони доменної печі при переході від технології використання природного газу до технології з застосуванням пиловугільного палива (ПВП). Встановлено відмінності подачі паливних домішок та теплової роботи фурмених вогнищ при спалюванні ПВП і природного газу. Встановлено залежність температурного потенціалу горнових газів при спалюванні пиловугільного палива та теоретичної температури фурменної зони від хімічного складу ПВП. Найбільш сильний вплив на значення теоретичної температури надає вміст вуглецю і водню у паливі.

Ключові слова: доменна піч, фурмена зона, паливна добавка, пиловугільне паливо, теоретична температура

*A. L. Chauka, V. Yu. Shostak, A. A. Sokhatskii, D. N. Miroshnichenko,
V. I. Dimentev*

Features thermal gas-dynamic operation of the blast furnace tuyere zone by blowing into the furnace of pulverized coal and natural gas

The aim is to study the characteristics of the heat-gas-dynamic operation of the blast furnace tuyere zone in the transition from technology using natural gas to coal injection technology (PCI). Fuel additives and thermal work tuyere pockets differences established by burning pulverized coal and natural gas. The temperature dependence of the potential gas hearth is installed by burning pulverized coal with different chemical composition. The strongest influence on the value of the theoretical temperature has content of carbon and hydrogen in the fuel.

Keywords: blast furnace, the blast zone, the fuel additive, pulverized coal, the theoretical temperature