

УДК 669.162.2

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ СГОРАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ

© **Кочура Владимир Васильевич**, канд. техн. наук; **Ярошевский Станислав Львович**, д-р техн. наук; **Купенко Владимир Иванович**, канд. геол.-минер. наук; **Мишин Иван Васильевич**

Донецкий национальный технический университет. Украина, г. Донецк. E-mail: kochura@ukr.net

Статья поступила 18.02.2013 г.

Для определения полноты сгорания пылеугольного топлива, вдуваемого в горн доменных печей, предлагается использовать петрографический анализ содержания несгоревших угольных частиц в колошниковой пыли и шлаке, а также химический анализ доменного шлака и колошниковой пыли.

Ключевые слова: уголь; пылеугольное топливо; колошниковая пыль; шлаам; шлак; доменная печь.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что одним из важнейших условий использования пылеугольного топлива (ПУТ) в доменной плавке является обеспечение его полного сгорания в пределах фурменных зон. В связи с этим контроль степени сгорания ПУТ является важной задачей. Для экспериментального анализа сгорания ПУТ в фурменной зоне доменной печи (ДП) применяют различные способы и устройства.

Одним из таких методов является скоростная киносъемка фурменной зоны [1, 2]. Так, в США с помощью киносъемки установлено, что частицы угольной пыли сгорают на расстоянии 300–400 мм от носка фурмы [2]. Аналогичные результаты получены в Китае при вдувании в горн 270 кг ПУТ на 1 т чугуна [3]. Применяемая аппаратура для определения полноты сгорания очень сложна и обеспечивает лишь качественную оценку.

Наиболее достоверные результаты могут быть получены зондированием горна с непосредственным отбором проб материалов. Институтом IRSID (Франция) совместно с фирмой Solmer разработано и внедрено устройство для зондирования горна ДП трубой диам. 90 мм с гидравлическим усилителем до 10 т на глубину 6 м [4, 5].

На ДП-5 завода Chiba фирмы Kawasaki Steel (Япония) установлен косой зонд, который вводят через отводную трубку, примыкающую к соплу, под углом к оси фурмы [6]. Это позволило исключить нарушение процессов в зоне циркуляции при вводе зонда, а также проводить замеры в пространстве между соседними фурменными зонами. Замеры можно производить на расстоянии

до 3 м от фурмы. С помощью зонда можно отбирать пробы газа, пыли, расплавленного металла и шлака, замерять температуру, а также проводить наблюдения за состоянием внутри ДП с использованием оптического волокна и телекамеры. Имеется возможность ввода зонда под углом через соседнюю фурму [7–9].

Количественный метод определения полноты сгорания топлива в фурменных зонах разработан проф. С.А.Ярошевским и испытан в условиях Донецкого металлургического завода [10–13]. Эксперименты по определению полноты сгорания ПУТ проводили с помощью водоохлаждаемой трубы-зонда. Расход ПУТ во время исследований составлял 50, 100 и 150 кг/т чугуна. Микроструктурный анализ большого количества проб материалов, отобранных из различных точек горна, показал, что уже на срезе фурм размер частиц угольной пыли уменьшается. Полное сгорание ПУТ происходит на расстоянии 0,6–0,8 м от среза фурмы. Интенсивное горение ПУТ начинается еще до его поступления в фурменную зону: на срезе фурмы сгорает 50–70% топлива. При увеличении расхода ПУТ значительно расширяется зона распространения частиц топлива в горне.

Методика исследования полноты сгорания ПУТ в ДП по анализу продуктов плавки основана на идентификации и количественной оценке несгоревших частиц углерода ПУТ, вынесенных из ДП в составе колошниковой пыли, шламов и шлака. Указанная методика опробована и применяется в отечественной и зарубежной практике [14–17].

Исследованием полноты сгорания ПУТ, проведенным с использованием петрографическо-

го анализа продуктов плавки на мощных (более 4000 м³) ДП комбината Баостил (Китай), показана неполнота сгорания ПУТ 1,1 и 2,6% при вдувании в горн 178 и 240 кг ПУТ на 1 т чугуна: при этом степень замены кокса ПУТ составляла около 40%, расход кокса на 1 т чугуна был менее 300 кг/т чугуна, увеличение неполноты сгорания до 2,6% при вдувании ПУТ 240 кг/т чугуна еще не препятствовало устойчивой и производительной работе доменной печи [15].

Известны также способы косвенного определения полноты сгорания угольной пыли аналитическим способом и по анализу продуктов плавки [17–20].

Цель данной работы – разработка методики определения полноты сгорания ПУТ в доменных печах по содержанию углерода в продуктах плавки.

Для определения полноты сгорания ПУТ в условиях фурменных зон ДП ПрАО «Донецк-сталь»–металлургический завод» (ПрАО «ДМЗ») использовали петрографический анализ содержания несгоревших частиц ПУТ в колошниковой пыли и шлаке, а также химический анализ доменного шлака и колошниковой пыли.

Исследования проводили в два этапа: в 2003–2005 гг. и в 2010 г. Промышленная эксплуатация пылеугольного комплекса на ПрАО «ДМЗ» начата в сентябре 2002 г. Доменный цех имеет в своем составе две ДП полезным объемом 1033 м³. Конструкция основной и модернизированной установки для приготовления ПУТ описана ранее [21].

В период исследований на первом этапе в ДП-1 выплавлялся передельный чугун из привозных агломератов и окатышей, доля последних в шихте изменялась от 35 до 65%. Для повышения стабильности химического состава железорудной шихты в качестве основных компонентов использовали окатыши ОАО «ЛебГОК» и агломерат ОАО «ЮГОК», а в качестве основного топлива – кокс Донецкого участка Рутченковского КХЗ.

ДП-1 работала без вдувания ПУТ, а ДП-2 с вдуванием 90–130 кг ПУТ на 1 т чугуна. Показатели качества ПУТ характеризовались высокой тонинной помола, низкой и устойчивой влажностью (рис. 1). Средний медианный размер частиц ПУТ изменялся в пределах 10–40 мкм.

Суть метода подробно изложена в работах [22, 23] и состоит в определении с помощью петрографического анализа с применением методов рудной микроскопии и углететрографии в продуктах

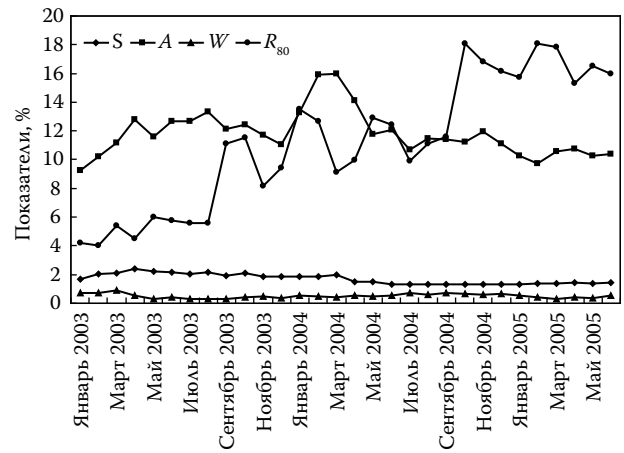


Рис. 1. Технический анализ и помол ПУТ (S – содержание серы, A – золы, W – влаги; R₈₀ – весовой остаток на сите с размером ячеек 80 мкм)

доменной плавки частиц углерода кокса и ПУТ, которые имеют различную форму и размеры.

В петрографических исследованиях степени сгорания ПУТ в ДП применялся рудный микроскоп, позволяющий определять следующие свойства: коэффициент отражения (отражательная способность) и его дисперсию; эффекты поляризации; осность и оптический знак; окраску; относительную твердость; микрохрупкость; микропластичность; магнитность; форму и размер зерен (кристаллов). Методика исследования основывалась на определении оптических и других свойств минералов (их искусственных аналогов и некристаллических фаз), а также морфологии, структуры, степени кристалличности [24, 25].

Объектом исследования являлся полированный шлиф площадью 1–2 см², изготовленный на основе эпоксидной смолы из пробы анализируемого материала (угля, кокса, колошниковой пыли и шлака). Микроструктура шлифа ПУТ и колошниковой пыли приведена на рис. 2. При микроскопическом изучении определяли содержание основных компонентов в объемных процентах. Использовали один из общепринятых при минералогическом анализе – линейный метод. Вдоль системы параллельных линий, расположенных через 1 мм, подсчитывали суммарную длину пересечений каждого компонента. Содержание компонента определяли по сумме длин пересечений, деленной на общую длину пересечений всех компонентов. Результаты определения доли основных компонентов, содержащихся в колошниковой пыли, отобранной на ДП-1, работающей без вдувания ПУТ, и ДП-2 (с вдуванием 90–130 кг ПУТ на 1 т чугуна) приведены в табл. 1.

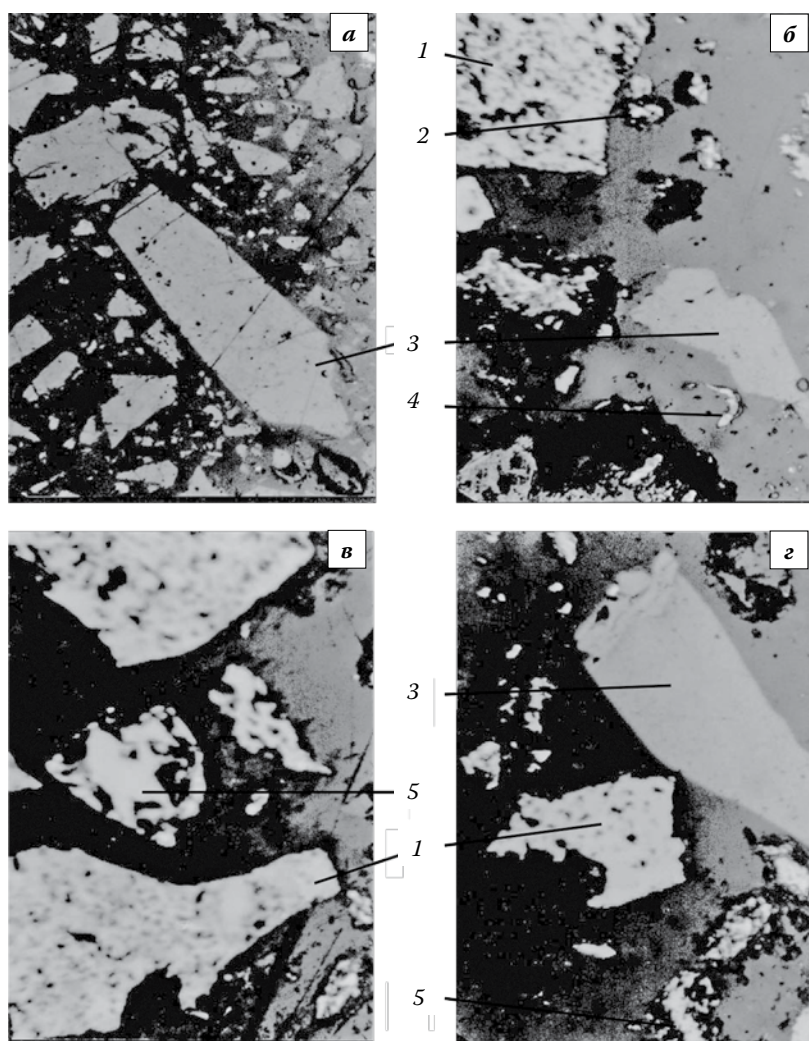


Рис. 2. Микроструктура ПУТ и колошниковой пыли ($\times 537$):
 а – ПУТ; б и г – колошниковая пыль ДП-2; в – колошниковая пыль ДП-1;
 1 – кокс; 2 – Fe_2O_3 ; 3 – уголь; 4 – графит; 5 – Fe_3O_4

Таблица 1. Основные компоненты колошниковой пыли

Компоненты	Содержание, об. %	
	ДП-2	ДП-1
Кокс	68,5	71,6
Магнетит	3,6	2,9
Магнетит в стекле	6,8	8,8
Магнетит с гематитом	4,1	4,9
Стекло с включениями металла	8,3	6,8
Рекристаллизованные шлакообразующие компоненты	3,5	3,7
Уголь	0,8	–
Графит	1,3	–
Лимонит	0,6	0,5
Карбонаты	0,5	0,8

Из этих данных видно, что в колошниковой пыли преобладает кокс (до 70%) в виде частичек размером в десятые-сотые доли миллиметров, в

различной степени графитизированный. В этом отношении он не отличается от пылеватых частиц кускового кокса. Второй по распространенности компонент – магнетит, чаще всего встречающийся со шлакообразующими компонентами (стекло и поликристаллические образования). Микроструктура свидетельствует о его образовании при перекристаллизации шихты в пластичном состоянии, или при кристаллизации (кристаллы в массе стекла), или при кристаллизации из силикатного расплава (дендриты).

Магнетит нередко замещается гематитом – частично или полностью. Шлакообразующие компоненты в виде стекла или поликристаллических масс часто содержат микроскопические капли металла (1–10 мкм).

Частицы угольной пыли практически не отличаются от исходного ПУТ. В отличие от кокса частицы угля не содержат пор и не графитизированы. Их отражательная способность и твердость значительно ниже, чем кокса. Графит в виде пластинок размерами до $0,4 \times 0,02$ мм не связан с другими компонентами и по морфологии резко отличается от графитизированных корочек на

коксе. В небольшом количестве отмечается карбонат (ромбоэдрические осколки по спайности до 0,2 мм) и лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Соотношение объемов углеродсодержащих компонентов в колошниковой пыли составляет, %: кокс – 96,9; уголь – 1,2; графит – 1,9.

Микроструктура колошниковой пыли, отобранной на ДП-1, отличалась отсутствием несгоревшего угля и графита.

Вынос углерода с колошниковой пылью определяли расчетным путем по данным выноса колошниковой пыли и химического анализа содержания в ней углерода. Изучение динамики выноса колошниковой пыли, содержания в ней углерода и удельного выноса углерода (кг/т кокса) с колошниковой пылью на ДП-1 и ДП-2 за период с августа 2003 по май 2005 г. показало следующее. Вынос колошниковой пыли за период исследования изменялся в диапазоне 73–194 т/т чугуна на ДП-1 и 72–145 т/т чугуна на ДП-2, а содержание угле-

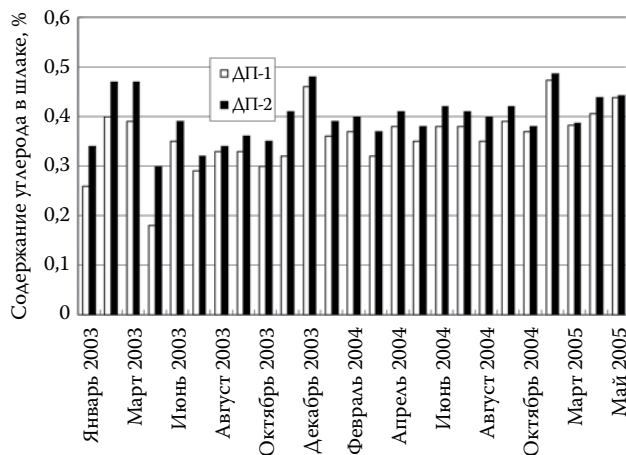


Рис. 3. Изменение содержания углерода в шлаке при вдувании ПУТ (ДП-2) и без его вдувания (ДП-1)

рода в колошниковой пыли от 7,4 до 19,07%. Вынос углерода с колошниковой пылью на 1 т кокса на ДП-2 оставался ниже (6–19 кг), чем на ДП-1 (10–23 кг), что свидетельствовало о достаточно полной газификации углерода ПУТ в фурменных зонах ДП-2.

Исследования содержания углерода в доменном шлаке при вдувании ПУТ на ДП-2 и без вдувания ПУТ на ДП-1 проводили на основании химического анализа шлака на углерод и петрографического анализа. Изменение содержания углерода в шлаке (рис. 3) показывает, что процесс горения ПУТ в фурменных зонах не ухудшился, сохранился на достаточно высоком уровне: об этом свидетельствует незначительный прирост содержания углерода в шлаке – на 0,004–0,033% на ДП-2.

Исследования под микроскопом шлака ДП-1 показали его раковистый излом, стеклянный блеск. Стекловидная масса имела бурый цвет с зеленоватым оттенком. В массе стекла представлены мельчайшие (до 0,01 мм) пузырьки газа и белые волокнистые кристаллы (длиной до 1 мм), образующие пучки и крестовидные сростки, а с поверхности – корку толщиной 1–3 мм. Внешняя часть корки скрытокристаллическая, серая, с крупными порами (0,1–0,5 мм). Внутренняя часть прозрачна, насыщенность включениями невелика. Под микроскопом наблюдались мельчайшие капельки (1–3 мкм) металла, равномерно рассеянные в массе стекла. Волокнистые кристаллы представляют собой пучки нитей толщиной около 1 мкм.

Шлак ДП-2 аналогичен шлаку ДП-1. От шлака ДП-1 он отличается значительно большей прозрачностью благодаря низкому содержанию

твердых и газообразных включений. Количество микроскопических включений металла меньше.

Исследование содержания углерода в доменном шлаке и колошниковой пыли, а также петрографические исследования шлака и колошниковой пыли при работе ДП с вдуванием и без вдувания ПУТ подтвердили практическое отсутствие прироста содержания в них углерода, в частности, в виде ПУТ, что свидетельствует о высокой степени газификации углерода ПУТ в горне.

На втором этапе исследований (2010 г.) для определения полноты сгорания ПУТ на ДП-1 доменного цеха ПрАО «ДМЗ» использовали петрографический анализ содержания несгоревших частиц ПУТ в продуктах доменной плавки: колошниковой пыли, шламе и шлаке.

ДП в указанный период работала эффективно на окатышах СевГОК (1557 кг/т чугуна): производительность печи составляла 2000 т/сутки, расход кокса «Премиум» – 422 кг/т чугуна; ПУТ – 135 кг/т чугуна, железоблюса – 64 кг/т чугуна; расход известняка – 147 кг/т чугуна.

Во время эксперимента вдували ПУТ, приготовленное из смеси газового и тощего углей в соотношении 3:2. Показатели качества ПУТ характеризовались высокой тониной помола, стабильным техническим анализом ($A = 10,35\%$; $S = 0,99\%$; $W = 1,58\%$, $ЛВ = 30\%$). Средний медианный размер частиц ПУТ составлял 35 мкм (>80 мкм – 13,77%; 80–63 мкм – 8,9%; 63–0 мкм – 77,83%).

Для проведения петрографических исследований изготавливали брикеты из шлама газоочистки и колошниковой пыли, пылеугольного топлива и кокса. Исследованы также аншлифы, изготовленные из образцов шлака, отобранных в тот же период.

Химический анализ продуктов плавки ДП-1 дан в табл. 2. Микроструктура шлифов колошниковой пыли и ПУТ приведена на рис. 4.

Петрографический анализ выполняли с применением методов рудной микроскопии и углепетрографии. Использовали поляризационный микроскоп МИН-9 с микрофотометрическим устройством ФМЭ-1. Рудные, шлакообразующие и углеродсодержащие компоненты определяли по ряду оптических признаков (отражательная способность, цвет, двуотражение, эффекты поляризации, внутренние рефлексы), а также по микротвердости.

Отражательная способность (R_0), визуально воспринимаемая как яркость компонента в по-

Таблица 2. Анализ проб шлака, шлама, колошниковой пыли и пылеугольного топлива, взятых для исследования полноты сгорания ПУТ на ДП-1 ПрАО «ДМЗ»

<i>А. Химический анализ шлаков и соответствующих им чугунов</i>				
Наименование	Шлак			
	№ 1 (16.05.2010)	№ 2 (19.05.2010)	№ 3 (30.05.2010)	
[Si]	0,51	0,62	0,65	
[Mn]	0,1	0,1	0,1	
[S]	0,03	0,04	0,03	
[P]	0,02	0,02	0,03	
(SiO ₂)	38,8	36,9	39,1	
(Al ₂ O ₃)	5,8	5,7	5,8	
(CaO)	45,1	45,2	43,8	
(MgO)	6,7	6,8	7,2	
CaO/SiO ₂	1,16	1,22	1,12	
<i>Б. Химический анализ проб шлама и колошниковой пыли</i>				
Наименование	Шлам № 1 (1.05.2010– 10.05.2010)	Колошниковая пыль № 1 (1.05.2010– 10.05.2010)	Шлам № 2 (16.05.2010– 31.05.2010)	Колошниковая пыль № 2 (16.05.2010– 31.05.2010)
SiO ₂	7,2	5,1	8,6	11,3
CaO	6,2	3,4	4,5	6,6
MgO	0,8	0,4	0,6	0,9
MnO	0,168	0,19	0,154	0,18
Fe _{общ}	55,2	55,1	54,9	42,2
FeO	11,5	10,6	8,8	9
Fe ₂ O ₃	63,5	66,2	63,7	49,6
Al ₂ O ₃	0,25	0,2	0,38	0,85
ППП	3,5	14,7	3,9	19
TiO ₂	0,42	0,56	0,72	0,56
C	3,5	14,4	3,5	16,1
S	0,42	0,12	0,72	0,169
P ₂ O ₅	0,36	0,16	0,16	0,16
Na ₂ O	0,21	0,34	0,07	0,23
K ₂ O	0,24	0,7	0,11	0,46
Zn	0,11	0,13	0,18	0,13
<i>В. Технический анализ ПУТ (1.05.2010–31.05.2010)</i>				
A	10,5			
AB	28,6			
S	1,02			

лированном брикете, численно равна отношению интенсивности отраженного света (I_0) к интенсивности падающего света (I_n). Явление двуотражения характерно для анизотропных кристаллов. При изменении ориентировки плоскости поляризации света относительно кристаллографических направлений меняется отражательная способность (особенно ярко это свойство выражено у

графита). При введении дополнительного поляроида (анализатора) между объективом и окуляром заметна и очень слабая анизотропия (эффекты поляризации). При этом наблюдался цвет просвечивающих компонентов, обычно серых в отраженном свете (внутренние рефлексии).

Морфологию частиц кокса определяли по макро- и микропористости. Размер пор соответственно колебался от миллиметров до микрон. Почти полностью они сложены поликристаллическими агрегатами графита с размером частиц в несколько микрометров. Кокс содержал большое количество обломков аналогичного состава скрытокристаллической структуры с субмикроскопической зернистостью (выглядят изотропными), а также включения шлакообразующих компонентов и фрагментов с реликтовой клеточной структурой. Часть пустот покрыта корочками перекристаллизованного графита толщиной в сотые доли миллиметра.

Отражательная способность графита $R_0 = 22\%$, двуотражение очень сильное, с изменением цвета от коричневатого до сине-серого.

Термическое воздействие приводит к графитизации частиц кокса с поверхности и образованию новых пор.

Частицы пылеугольного топлива сложены бесструктурным витринитом – однородным гелефицированным

изотропным компонентом. Изредка встречается структурный витринит, содержащий остатки растительной структуры. Форма частиц – угловатая, с количеством сторон от трех до пяти. Поры отсутствуют.

Отражательная способность витринита зависит от марки угля. Так, для угля по ГОСТу Украины 1996 г. R_0 для газового угля составляет

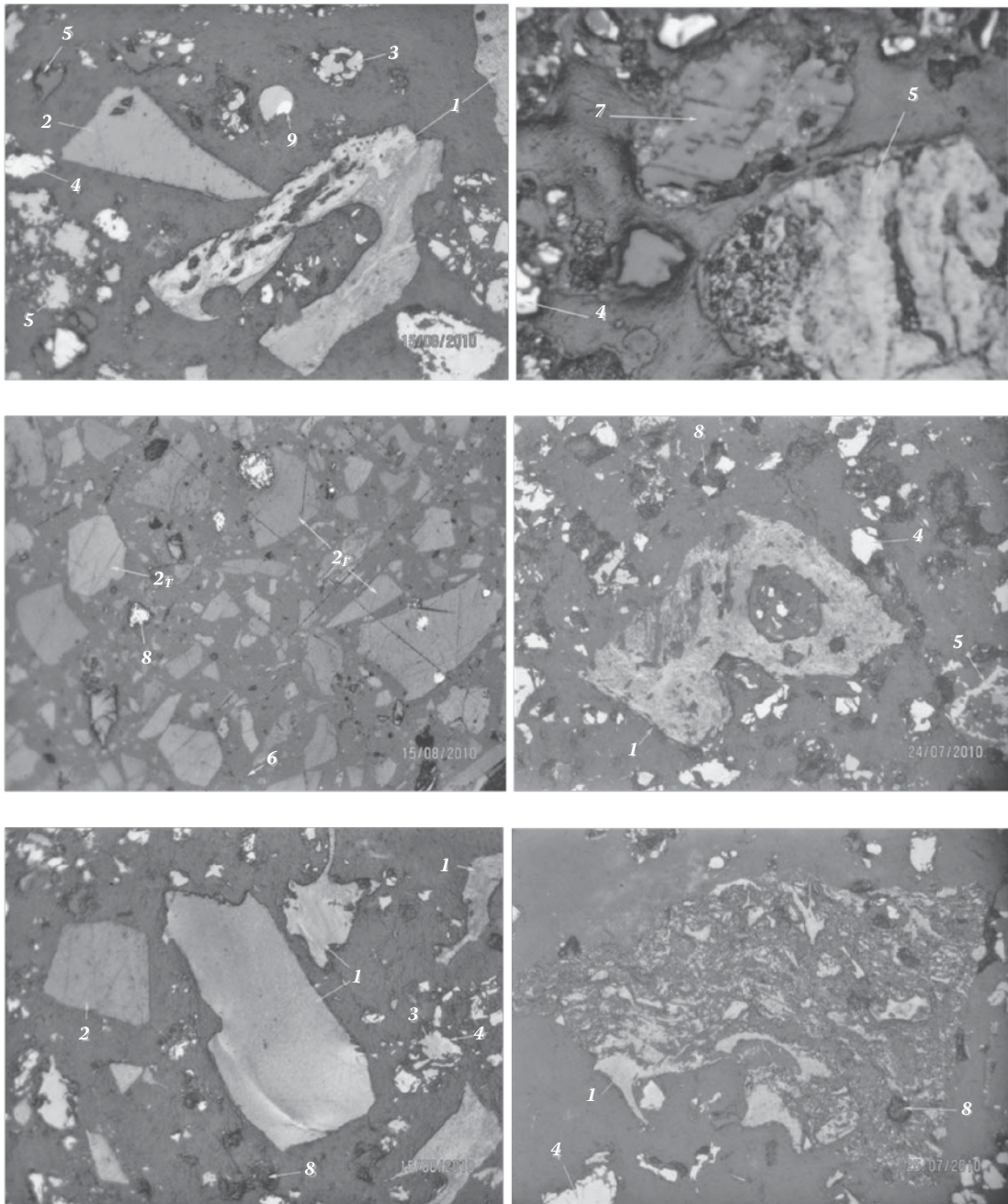


Рис. 4. Микроструктура ПУТ и колошниковой пыли (размер кадра по горизонтали составляет 0,125 мм):
 1 – кокс; 2 – уголь; 2_т – уголь тощий; 2_г – уголь газовый; 3 – магнетит; 4 – гематит; 5 – силикаты; 6 – эпоксидная матрица;
 7 – карбонаты; 8 – поры; 9 – металл

7,3–8,8, для тощего угля 10,1–12,3%. По этому показателю, а также по изотропности он существенно отличается от кокса. На рис. 4 визуально прослеживается отличие газового угля от тощего по отражательной способности (тощий уголь кажется светлее). Из-за низкой твердости частицы угля выделяются среди других компонентов обилием тонких царапин, от которых трудно избавиться при полировке.

Существенное значение имеет сравнительно широкий диапазон значений R_0 при небольшом

разрыве между углем разных марок. В процессе дегазации потеря летучих компонентов сопровождается изменением R_0 . Создается впечатление, что уголь марки Т при нагревании преобразуется по типу кокса, испытывая графитизацию с увеличением отражательной способности. На определенной стадии по оптическим свойствам он может приблизиться к коксу. При этом сохраняются отличия от кокса по особенностям микроструктуры и морфологии. Такой уголь следует отнести к частично использованному.

Частично использованный уголь марки Г отличается пониженной по сравнению с исходным отражательной способностью. Возможно, на ранней стадии преобразования потеря летучих компонентов и термическая диссоциация ведут к формированию субмикроскопических пор, понижающих этот показатель. Подобное явление наблюдается на конечных стадиях преобразования кокса.

Рудные компоненты представлены магнетитом Fe_3O_4 и гематитом Fe_2O_3 . Магнетит чаще всего образует сростки неправильных зерен размером 30 мкм и менее. Включения магнетита в стеклообразных образованиях имеют вид правильных кристаллов, замещаемых гематитом (см. рис. 4). Гематит количественно преобладает над магнетитом.

Шлакообразующие компоненты представлены остаточным кварцем, карбонатами, а также силикатами. Последние образуют правильные

кристаллы в массе силикатного стекла, образующего и самостоятельные частицы. Отражательная способность этих компонентов варьируется в зависимости от содержания железа. Стеклообразные частицы могут иметь отражательную способность, близкую к нулю. Однако они отличаются серыми или ярко-красными (за счет оксидов железа) внутренними рефлексами, в то время как в угле они не наблюдаются. Существуют и морфологические отличия.

Все перечисленные компоненты встречаются как в виде отдельных частиц, так и в виде плотных комочков, по всей вероятности, это осколки железорудных окатышей.

Определено объемное содержание (%) указанных компонентов линейным методом. Этот метод основан на том, что отношения площадей, занимаемых сечениями зерен в плоскости шлифа, пропорциональны отношению длин линий, пересекающих эти сечения. В свою очередь отношения площадей сечений пропорциональны отношению объемов зерен. Измерения проводили с применением окуляра–микрометра. Брикет перемещали с помощью координатного препаратоводителя, снабженного линейками с нониусами так, чтобы измерение сечений зерен выполнялось по системе параллельных линий через 1 мм.

Результаты подсчетов основных компонентов, содержащихся в шламе газоочистки и колошниковой пыли, отобранных на ДП-1, приведены в табл. 3. Сходимость результатов контролировали измерениями на двух половинах брикетов – А и Б. Из табл. 3 видно, что в шламе газоочистки преобладают оксиды железа (до 72%) и шлакообразующие (до 25%). Содержание кокса и угля составляет 3,4 и 0,012%.

В колошниковой пыли содержится примерно одинаковое количество оксидов железа (36%), шлакообразующих компонентов (34%) и кокса (30%). Содержание частиц угля в колошниковой пыли на порядок выше, чем в шламе и составляет 0,1% (см. табл. 3).

Химический анализ проб шлама и колошниковой пыли (см. табл. 2Б)

Таблица 3. Содержание основных компонентов на ДП-1
ПрАО «ДМЗ», об. %

<i>В шламе газоочистки</i>					
Номер пробы	Часть брикета	Кокс	Уголь	Оксиды железа	Шлакообразующие компоненты
Без номера 1–10 мая 2010 г.	А	2,08	–	64,79	33,13
	Б	2,61	–	67,80	29,59
	Среднее	2,34	–	66,30	31,36
1 16, 27, 29 мая 2010 г.	А	3,65	0,01	75,28	21,06
	Б	3,50	0,01	74,07	22,42
2 18, 23, 24, 30 мая 2010 г.	Среднее	3,57	0,01	74,68	21,74
	А	2,93	–	65,75	31,32
	Б	3,57	0,03	72,93	23,47
Среднее	Среднее	3,25	0,015	69,35	27,39
	1, 2	Среднее	3,41	0,012	72,02
<i>В колошниковой пыли</i>					
Номер пробы	Часть брикета	Кокс	Уголь	Оксиды железа	Шлакообразующие компоненты
Без номера 1–10 мая 2010 г.	А	18,68	0,19	46,93	34,20
	Б	23,53	0,14	39,52	36,81
	Среднее	21,10	0,16	43,24	35,50
№ 1 16, 27, 29 мая 2010 г.	А	28,73	0,05	34,91	36,31
	Б	26,80	0,07	34,79	38,35
№ 2 18, 23, 24, 30 мая 2010 г.	Среднее	27,76	0,06	34,84	37,34
	А	33,69	0,13	37,79	28,39
	Б	28,22	0,06	36,74	34,98
Среднее	Среднее	30,96	0,09	37,27	31,69
	№ 3 19, 20, 22, 31 мая 2010 г.	А	29,74	0,12	35,44
Среднее проб № 1, 2, 3	Б	33,46	0,19	36,88	29,47
	Среднее	31,60	0,15	36,16	32,09
Среднее проб № 1, 2, 3	Среднее	30,11	0,10	36,09	33,70

качественно подтверждает более низкое содержание углерода в шламе (3,5%) по сравнению с углеродом колошниковой пыли (14–16%). Анализ результатов подсчета показывает удовлетворительную сходимость данных.

Размер частиц шлама газоочистки пыли, независимо от их состава, колеблется от долей микрометра до 25 мкм. Частицы колошниковой пыли крупнее – до 50 мкм; небольшая часть достигает размеров 80–100 мкм.

Углеродсодержащие компоненты в шлаке не обнаружены. Стекловатая масса содержит поры размером от долей микрометра и крупнее, а также мельчайшие капельки металла. Наблюдается начало процесса рекристаллизации в виде тончайших дендритов и сростков удлиненных кристаллов силикатов.

Исследования полностью подтвердили выводы субъективного анализа и наблюдений, свидетельствующих о высокой степени газификации ПУТ в ДП: об этом свидетельствуют высокий уровень основных ТЭП плавки, минимальные простои и горение воздушных фурм, достаточные стабильность и устойчивость технологического процесса.

Результаты петрографических исследований показали, что содержание углерода ПУТ в шлаке – следы; в колошниковой пыли – 0,1 и шлаке – 0,012% (об.). Это значит, что свыше 99% углерода ПУТ газифицируется в ДП. Это является достаточно высоким результатом.

Данные исследования показали, что в сложившихся на ПрАО «ДМЗ» технологических условиях полнота газификации ПУТ не является регламентирующим параметром технологии.

Выводы. Для контроля полноты сгорания пылеугольного топлива (ПУТ) могут быть использованы как методы непосредственного определения несгоревших частиц угля в фурменной зоне путем зондирования горна с отбором проб материалов и газов, так и косвенные методы, основанные на петрографическом и химическом анализах продуктов плавки.

Проведенные петрографические исследования полноты сгорания ПУТ на доменных печах ПрАО «Донецксталь»–МЗ по анализу продуктов доменной плавки показали достаточно полную 99% (об.) степень газификации частиц угля при расходах ПУТ 90–130 кг/т чугуна.

Опыт ПрАО «Донецксталь»–МЗ показывает, что освоение пылеугольной технологии при расходе ПУТ 100–150 кг/т чугуна и снижение расхода кокса до 400 кг/т чугуна для условий доменных печей Украины вполне реально.

Библиографический список

1. Вегман Е.Ф., Мишин Ю.П., Пареньков А.Е. Ско- ростная киносъемка фурменной зоны действующей домен- ной печи: Работа фурменной зоны доменных печей. Сверд- ловск. 1985. С. 3–4.
2. Zhang, S., Bi X. Theoretical consideration of problems relating to high coal rate injection into blast furnaces // Ironmak- ing and Steelmaking. 2003. Vol. 30, No.6. P. 467–474.
3. Zhang, S., Yin, H. The Trends of Ironmaking Industry and Challenges to Chinese BF Ironmaking in the 21st Century: Proc. 5th Int. Congr. on the Science and Technology of Ironmak- ing (ICSTI'99 – Shanghai, China). 2009. P. 2–15.
4. Helleisen, M., Nicolle, L., Metz, B. Sondages dans l'homme mort du haut fourneau a travers une tuyere // Rev. Met. 1987. Vol. 84, No. 11. P. 747–758.
5. Lao, D., Eymond, J., Eibes, C. et al. Fundamental aspects and industrial practice of high coal injection in the blast furnace within Usinor Sacilor group: Proc. 1st Int. Congr. on Science and Technology of Ironmaking (Sendai, Japan). 1994. P. 517–522.
6. Kahji, T., Seyi, T., Takao H. et al. Sideways tuyere probe for measuring blast furnace raceway zone // Kawasaki Steel Techn. Rept. 1998. No. 19. P. 123–125.
7. Kahji, T. Development of Iron-Making Technologies in Japan: Proc. 5th Int. Congr. on the Science and Technology of Ironmaking (ICSTI'99 – Shanghai, China). 2009. P. 16–21.
8. Sahajwalla, V., Kong, C., Lu, I. et al. Investigation of combustion behavior of a PCI coal and unburnt char carryover in a US Steel blast furnace: Proc. 60th Ironmaking Conf. (Baltimore, USA). 2001. P. 451–458.
9. Langer, K. Injection of pulverized coal at Thyssen Krupp Steel // Stahl and Eisen. 2005. No. 11. P. 591–594.
10. Ярошевский С.Л., Анисимов А.Т. Изучение про- цесса горения дополнительного топлива в фурменных зонах доменной печи // Сталь. 1985. № 2. С. 9–13.
11. Ярошевский С.Л., Рябенко А.И., Антонов А.А. и др. Применение пылеугольного топлива для выплавки чугу- на. К. : Техника, 1974. 186 с.
12. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. М. : Металлургия, 1988. 176 с.
13. Бабич А.И., Ярошевский С.Л., Терещенко В.П. Ин- тенсификация использования пылеугольного топлива в до- менной плавке. К. : Техника, 1993. 200 с.
14. Wu, K., Pan, W., Hu, W. et al. Research of utilization factor of injected pulverized coal into BF at large PCI Rate // Steel Research Int. 2008. No. 12. P. 904–907.
15. Shen, F., Yang, T., Gao, B. Technology progress and strategy in blast furnace ironmaking in China // Steel Research Int. 2005. Vol. 76, No. 10. P. 676–682.
16. Wu, K., Ding, R., Han, Q. et al. Research on uncon- sumed fine coke and pulverized coal of BF dust under different PCI rates in BF at Capital Steel Co. // ISIJ Int. 2010. Vol. 50, No. 3. P. 390–395.

17. **Бабий В.И., Куваев Ю.Ф.** Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. М. : Энергоатомиздат, 1986. 208 с.

18. **Мухин П.Я.** О поведении частицы пылеугольного топлива в горне печи: Интенсификация процессов доменной плавки и освоение печей большого объема. М. : Металлургия, 1977. С. 52–54.

19. **Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. и др.** Основы практической теории горения. Л. : Энергия, 1986. 312 с.

20. **Андронов В.Н., Степанов В.В., Бабич А.И., Кочура В.В.** Расчетная оценка режима и полноты сгорания пылеугольного топлива в доменной печи: Технология выплавки чугуна. М. : Металлургия, 1989. С. 39–42.

21. **Рыженков А.Н., Ярошевский С.Л., Крикунов Б.П. и др.** Технология доменной плавки с вдуванием пылеуголь-

ного топлива и природного газа на дутье, обогащенном кислородом // *Сталь*. 2005. № 12. С. 3–6.

22. **Кочура В.В., Ярошевский С.Л., Купенко В.И. и др.** Определение степени сгорания пылеугольного топлива в доменной печи № 2 ЗАО «Донецксталь» – металлургический завод: Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Металургія. Вип. 12 (177) – Донецьк : ДонНТУ, 2010. С. 56–65.

23. **Кочура В.В., Ярошевский С.Л., Попов В.Е. и др.** Исследование полноты сгорания пылеугольного топлива в доменной печи № 1 ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод // *Металл и литье Украины*. 2011. № 9/10. С. 16–21.

24. **Перепелицин В.А.** Основы технической минералогии и петрографии. М. : Недра, 1987. 255 с.

25. **Юшко С.А.** Методы лабораторного исследования руд. М. : Недра, 1984. 389 с.

METHOD FOR DETERMINING DEGREE OF PULVERIZED COAL FUEL COMBUSTION IN BF

© **Kochura V.V.**, Cand. Sc. (Eng.); **Yaroshevskiy S.L.**, Dr Sc. (Eng.), prof.; **Kupenko V.I.**, Cand. Sc. (Geol.-Miner.); **Mishyn I.V.**

To determine the efficiency of combustion of pulverized coal injected into the BF hearth it is proposed to use the petrographic analysis of the content of unburned carbon particles in the flue dust and slag, as well as chemical analysis of BF slag and flue dust.

Keywords: coal; PC; flue dust; sludge; slag; BF.

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

В Таштагольском филиале Евразруды добыта 150-миллионная тонна руды

В августе в Таштагольском филиале Евразруды добыта 150-миллионная тонна руды с начала промышленной эксплуатации рудника. Сегодня добыча руды в Таштагольском филиале ведется на трех участках и шести горизонтах. Ежегодный объем добычи рудника составляет 1700–1900 тыс. т. Таштагольский первичный концентрат перерабатывается на Мундыбашской и Абагурской обогатительных фабриках, откуда железорудный концентрат отправляется основному потребителю – ЕВРАЗ ЗСМК.

Запасы Таштагольского филиала Евразруды составляют более 700 млн т сырой руды, основная часть которой залегает на большой глубине. Здесь располагаются запасы руды с высоким содержанием железа – порядка 44%. Добыча такой руды требует значительных вложений. В прошлом году ЕВРАЗ в Таштагольском филиале ввел в эксплуатацию современный закладочный комплекс. Теперь добыча руды ведется по новой технологии: выработанное пространство шахты заполняется твердеющей смесью, состоящей из граншлака, цемента, щебня и воды. Это позволяет поддержать выработанное пространство, сохранить земную поверхность и начать отработку ранее недоступных участков недр. Таким образом, ввод закладочного комплекса позволил продлить жизнедеятельность Таштагольского рудника на ближайшие десятилетия.

Таштагольское месторождение является крупнейшим в Сибири по запасам железной руды и одним из самых богатых по содержанию железа среди месторождений, обрабатываемых подземным способом в Сибири. Таштагольский рудник начал эксплуатироваться по временной схеме 22 июня 1941 г. и является старейшим среди филиалов Евразруды с подземным способом отработки. Именно рудник дал жизнь городу Таштагол. Юбилейная 150-миллионная тонна таштагольской руды стала достойным подарком ко Дню рождения города.

*Региональный центр корпоративных отношений «Сибирь»
Департамент по связям со СМИ*