

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПУТ В ДОМЕННЫХ ЦЕХАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ УКРАИНЫ

*Выполнен краткий анализ показателей выплавки чугуна с применением пылеугольного топлива в четырех доменных цехах металлургических предприятий Украины. Обоснована необходимость первоочередного повышения качества кокса – одного из важнейших факторов комплексной компенсации негативных температурно-тепловых и газодинамических изменений доменного процесса, обусловленных применением пылеугольного топлива.*

**Ключевые слова:** доменная печь, пылеугольное топливо, комплексная компенсация, качество кокса.

### Постановка проблемы

Обеспечение конкурентоспособности продукции металлургических предприятий (снижение ее себестоимости, повышение качества) в значительной степени связано с уменьшением удельного расхода самого дорогого и дефицитного топлива – металлургического кокса. Достичь экономии кокса при выплавке передельного чугуна в доменных печах возможно за счет замены его недорогими, некоксующимися каменными углями – так называемым пылеугольным топливом (ПУТ). Важнейшими условиями, способствующими успешному освоению технологии вдувания ПУТ, является применение в доменной плавке высококачественных по прочности и гранулометрическому составу шихтовых материалов, прежде всего кокса; использование других способов «полной комплексной компенсации» негативных тепловых и газодинамических изменений доменной плавки, сопряженных с вдуванием ПУТ. Таким образом, проблемы освоения современной технологии доменной плавки с применением ПУТ, глубокий анализ результатов ее применения, являются актуальными задачами для дальнейшего развития технологии.

### Анализ последних исследований и публикаций

Основными условиями внедрения технологии вдувания ПУТ на предприятиях Украины являются высокая температура дутья, глубокое обогащение его кислородом, повышение давления газов в рабочем объеме доменных печей, применение устройств регулирования расхода ПУТ по отдельным фурмам, специальных угольно-кислородных горелок эффективного и полно-

го сжигания угля в фурменных очагах [1,2]. При этом, как отмечено в работах [3-8], особое внимание должно быть уделено повышению качества кокса. В работах [9,10] рассмотрены некоторые промышленные способы повышения качества кокса, показаны результаты использования кокса улучшенного качества при вдувании ПУТ в доменные печи. Данные о качестве кокса в Западной Европе, США, Японии и Китае [11 и др.], должны являться ориентиром, образцом для возможных достижений в отечественной металлургии.

В программной работе [3] ведущих сотрудников ГП «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт» при участии специалистов коксохимических предприятий сформулированы основные направления повышения качества кокса на отечественных коксохимических предприятиях.

Многие публикации посвящены технологическим процессам производства кокса марки «Премиум» повышенной прочности на таких коксохимических предприятиях, как ПАО «Донецккокс», ПАО «Ясиновский коксохимический завод», ПАО «Макеевский коксохимический завод», ПАО «Авдеевский коксохимический завод» [3,4]. Особо следует отметить новые технологии коксования в условиях ПАО «Алчевсккокс» [5]. Опубликованы результаты исследований, касающихся практики внедрения пылевдувания на ПАО «Алчевский металлургический комбинат» (АМК) и ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» (ММК им. Ильича) [6,7].

В исследованиях [9] подчеркивается существенная роль использования качественного агломерата в повышении эффективности вдувания

ПУТ.

Кроме того, опыт зарубежных стран показывает, что вдувание ПУТ в количестве 180-200 кг/т чугуна и более становится возможным при повышенном качестве шихтовых материалов, температуре дутья 1150-1200 °С, содержании в нем кислорода 25-30 %, давлении колошниковых газов не менее 0,15-0,2 МПа (1,5-2 ати) [4,12].

Таким образом, на основе имеющихся литературных данных актуальным и целесообразным является проведение обобщающего анализа и оценки перспективы работы доменных цехов предприятий Украины с применением ПУТ.

### Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является комплексный анализ показателей работы доменных цехов Украины в условиях применения ПУТ в количестве 140-170 кг/т чугуна при особом выделении проблем улучшения качества кокса в модернизированных процессах его производства; оценка возможности дальнейшего снижения расхода кокса; разработка рекомендаций по повышению производственно-экономических показателей работы доменных цехов.

### Основной материал исследования

Основные материалы аналитических исследований представлены данными по каждому отдельному предприятию из четырех, в основном освоивших применение технологии доменной плавки с вдуванием в горн доменных печей ПУТ (табл. 1): ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод («Донецксталь»); АМК; ПАО «Запорожсталь»; ММК им. Ильича.

**В доменном цехе «Донецксталь»** – главном объекте освоения (начиная с 1980 г.) прогрессивной технологии выплавки чугуна с применением ПУТ, в мае 2006 г. на доменной печи №2 полезным объемом 1033 м<sup>3</sup> был начат новый этап развития этой технологии (табл. 1) на базе значительного повышения качества кокса, железорудной части шихты, оптимизации параметров доменной плавки при исключении из состава комбинированного дутья природного газа [2,5].

Улучшение качества кокса обеспечено производством на коксохимических заводах Донбасса новой, уже упомянутой марки кокса «Премиум», основная суть технологии производства которого включает применение исключительной по коксумости угольной шихты, состоящей на 90-100 % из углей марок К и Ж донецких шахт им. Засядько, им. Скочинского и, особенно, шахты «Красноармейская-Западная №1», поставляющей на коксохимические заводы ценные,

низкосернистые угли.

Периоды коксования были увеличены до 15,5-16,5 ч, чтобы скорость коксования не превышала 24 мм/ч и степень готовности кокса была высокой – выход летучих не превышал 0,5-0,8 %.

В результате, показатели прочности, гранулометрического состава, технического анализа сухой массы кокса существенно улучшились (см. табл. 1). В отдельные опытные периоды выплавки чугуна кокс новой марки имел такие показатели качества, %: зола – 10,4; сера – 0,69; M<sub>25</sub> – 88,3; M<sub>10</sub> – 6,5; CSR – 56,8; CRI – 29,5. Их сравнивали, в частности, со средними показателями качества обычного кокса марки КД1, по данным технических условий на этот кокс, %: зола – 11-12; сера – 1,3-2; влага – 5; M<sub>25</sub> – 82-86; M<sub>10</sub> – 7,5-9; фракции более 80 мм – 11-20; менее 25 мм – 4-4,5; CSR – 45,7; CRI – 39,6.

Дополнительно к качеству кокса для комплексной компенсации негативных изменений теплового и газодинамического режимов доменной плавки, а также улучшения условий сжигания ПУТ:

- увеличили температуру дутья от 938 до 1065 °С (на 127 °С), что стало возможным после улучшения качества кокса и повышения тепловой мощности воздухонагревателей;

- повысили расход технического кислорода в поток дутья до 78,4 м<sup>3</sup>/т (на 38 м<sup>3</sup>/т);

- увеличили содержание железа в рудной части шихты до 58,54 %, выведя из нее бедный агломерат; вследствие этого выход шлака вначале уменьшился на 57 кг/т, а после перехода на 100 % окатышей в шихте – на 130 кг/т и составил почти рекордные 326 кг/т чугуна.

Улучшение показателей качества кокса, рудного сырья, параметров комбинированного дутья позволило увеличить расход ПУТ от 103 до 172 кг/т чугуна, повысить производительность доменной печи на 17,1 % – от 1844,3 до 2218,9 т/сутки (на 376,4 т), удельная производительность при этом составила 2,148 т/м<sup>3</sup> сутки – достигла рекордного уровня в отрасли.

Удельный расход кокса снизился на 11,6 % – 51 кг/т чугуна, причем, только по линии улучшения качества кокса сокращение его расхода составило 23,2 кг/т, остальные 27,8 кг/т принадлежали повышению температуры дутья на 127 °С и некоторым другим технологическим факторам. Основная экономия кокса, сверх показанной, обусловлена вдуванием ПУТ и составила ориентировочно 130 кг/т чугуна.

Уменьшение поступления серы с коксом и ПУТ в доменную печь позволило снизить основную массу шлака до 1,21-1,17 ед. и за счет этого до-

полнительно улучшить показатели выплавки чугуна.

Расход ПУТ в отдельные периоды удавалось повышать до 172 кг/т чугуна. Однако, необходимость офлюсования низкоосновных окатышей (CaO/SiO<sub>2</sub>=0,25) путем загрузки в печь 150-155 кг/т сырого известняка привела к дополнитель-

ному расходу кокса в количестве около 30 кг/т чугуна. Поэтому, суммарный расход топлива (K+KO+ПУТ – в табл. 1) составил 574,6 вместо возможных 544,6 кг/т чугуна, т.е. оказался хуже уровня достижений других предприятий, не имеющих проблем с офлюсованием доменной шихты агломератом повышенной основности.

Табл. 1. Показатели выплавки чугуна в доменных цехах Украины с применением ПУТ и кокса повышенного качества

Расход, качество шихтовых материалов, показатели доменной плавки	Предприятия			
	«Донецк-сталь»	АМК	ПАО «Запорожсталь»	ММК им. Ильича
1	2	3	4	5
Количество печей, шт.	№1, 2	№1, 4, 5	№2, 3, 5	№1, 2, 3, 4, 5
Полезный объем печей, м <sup>3</sup>	1033	3000, 1386, 1719	1513	1033, 1300, 2000, 2002, 2300
Расход, кг/т чугуна:				
– агломерат (А)	567,7 (3,5)	1355	1662	1721,3
– окатыши (О)	918 (1570)	336	19	3,9
– железная руда	0	3,1	24	23,6
– металлодобавка	99,1	0	0,8	9,5
– др. Fe-содержащие материалы	98,7	28,3	13,4	17,7
– известняк	154,9	7,1	7	12,4
– кокс скиповой, сух. (К)	382,6	398,5	381	395,4 (378,8)
– коксовый орешек (КО)	20	0	0	11,6
– ПУТ	172	142,3	151	136,7 (154,4)
Σ (K+KO+ПУТ)	574,6	540,8	532	543,7 (544,8)
Содержание в А/О, %:				
– железа	54,3/61,2	56,06/61,7	56,22/62,5	54,5/65,4
– фракции 0-5 мм	17,7/3,5	10,3/4,3	14,3/4,8	13,7/5,1
Основность А/О, по CaO/SiO <sub>2</sub>	1,23/0,25	1,39/0,3	1,28/0,36	1,24/0,42
Содержание Fe в доменной шихте, %	58,5 (60,6)	57,09	56,53	54,32
Качество кокса, %:				
– зола	10,4	10,5	11	10,95
– сера	0,69	0,83	0,73	0,64
Фракции:				
– +80 мм	5,4	2,1	4,4	6,67
– -25 мм	3,4	3,4	3,3	2,69
– М25	88,73	91,5	89,9	89,87
– М10	6,53	4	6,4	6,84
Показатели, %:				
– CSR	56,8	58,85	52,5	54,05
– CRI	29,5	29,8	31,5	32,26
Горячее дутье:				
– давление, ати	2,3	2,64	2,65	2,29
– температура, °С	1065	1042	1138	1055
– расход O <sub>2</sub> , м <sup>3</sup> /т	78,4	78,8	46	43,7
Колошниковый газ, %:				
– CO <sub>2</sub>	20,8	20,1	20,1	19,75
– CO	26	23,7	25,1	22,89
– H <sub>2</sub>	4	3,1	3,5	2,44
Давление, ати	1,2	1,28	1,25	1,09
Степень использования газа η <sub>CO</sub> , %	44,4	45,9	44,47	46,3
Рудная нагрузка, т/т	4,38	4,18	4,52	4,415

1	2	3	4	5
Вынос пыли, кг/т	72,8	22,3	н.д.	25,3
Уд. производительность, т/м <sup>3</sup> сутки	2,148	1,83	2,02	1,754
Химсостав чугуна, %:				
– Si	0,67	0,75	0,65	0,72
– Mn	0,15	0,1	0,09	0,13
– S	0,041	0,027 (0,041)	0,026	0,02
– P	0,048	0,045	0,051	0,07
Химсостав шлака, %:				
– MgO	4,3	5,46 (4,5)	3,47	4,91
– Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,1	7,2 (7,7)	8,3	6,73
– MnO		0,07 (0,12)	0,13	0,2
– FeO	0,28	0,25 (0,34)		0,34
– S		1,23 (1,06)	0,88	1,02
Выход шлака, кг/т	399 (326)	365 (311)	395	453
Основность шлака*, CaO/SiO <sub>2</sub>	1,21 (1,17)	1,2 (1,14)	1,19	1,17

**Примечание:** в таблице показаны данные, характеризующие условия и показатели работы доменных цехов за отдельные опытные периоды 2006 г. и большей частью 2010-2013 гг., низкие показатели работы в 2014-2015 гг. не показаны, обусловлены военными событиями на Донбассе; в скобках показаны лучшие результаты по использованию ПУТ и снижению расхода кокса; \* – понижение основности шлака и повышение содержания серы в чугуне обусловлены наличием на предприятии внедоменной десульфурации чугуна.

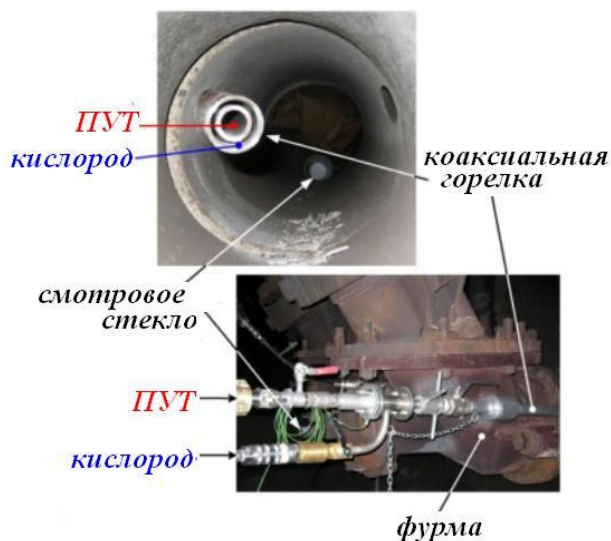


Рис. 1. Вид коаксиальной горелки в фурме доменной печи

Доменный цех АМК является вторым среди продолжателей освоения прогрессивной технологии доменной плавки с применением ПУТ, где начато применение этой технологии в мае 2009 г. на доменной печи №1 объемом 3000 м<sup>3</sup>, затем еще на двух печах объемом 1386 и 1719 м<sup>3</sup>.

На комбинате создан комплекс пылеприготовления и вдувания ПУТ по проекту и при участии немецкой фирмы «Kuttner», предусматривающий измельчение угля до заданной крупности 0,06-0,1 мм в эффективной валковой дробилке, возможности увеличения расхода пыли до 200 кг/т чугуна, совместное вдувание пыли и

кислорода через коаксиальные горелки при расходе кислорода до 170 м<sup>3</sup>/мин и его давлении 0,12 МПа [13]. Вид коаксиальной горелки внутри фурмы доменной печи представлен на рис. 1 [14]. Подобные комплексы применения ПУТ сооружены на ПАО «Запорожсталь» и ММК им. Ильича. Основные технологические условия для успешного применения ПУТ были обеспечены улучшением качества кокса за счет коксования трамбованной угольной шихты в коксовых печах батарей №9 и 10 коксохимического предприятия ПАО «Алчевсккокс» [5].

Повышение плотности угольной шихты, состоящей на 60 % из недефицитных газовых углей, от 0,75 до 1,15 т/м<sup>3</sup>, достигнуто путем послойного уплотнения угля падающими молотками в камерах трамбовочно-загрузочно-выталкивающих машин (ТЗВМ).

Благодаря увеличению плотности шихты, оптимизации режимов ее коксования, внедрению сухого тушения кокса, рациональной его механической обработки, значительно улучшены основные показатели качества скипового кокса (табл. 1). Повышение содержания железа в шихте, уменьшение выхода шлака до 311-365 кг/т способствовало улучшению газодинамических условий доменной плавки. В связи с этим расход ПУТ в отдельные периоды удавалось повышать до 160-170 кг/т, однако при эпизодических ухудшениях качества кокса снижались газодинамические и дренажные свойства коксовой насадки, что вызывало нарушения теплового со-

стояния печи, массовое горение воздушных фурм, высокие текущие простои, потери производства чугуна.

По данным исследований, проведенных в доменном цехе АМК [6], при вдувании ПУТ в количестве 130-160 кг/т чугуна следует учитывать:

- увеличение тепловых нагрузок на системы охлаждения доменных печей, увеличение износа футеровки горна, возрастание количества прогаров холодильников шахты и заплечиков, а также учащение горения воздушных фурм;

- увеличение тепловых потерь и расхода кокса на их покрытие более чем вдвое – от 16 до 37 кг/т чугуна;

- повышение роли загрузочных устройств в организации осевого газового потока, в регулировании радиального распределения шихты со значительно возросшей долей в ней массы железорудных материалов.

В существующих условиях устойчивый, ровный ход доменных печей возможен при умеренных расходах ПУТ (140-145 кг/т). Увеличение расхода ПУТ до 170-200 кг/т чугуна достижимо при дальнейшем повышении качества шихтовых материалов, увеличении температуры дутья, степени обогащения его кислородом и др.

**В доменном цехе ПАО «Запорожсталь»** (три доменные печи объемом по 1513 м<sup>3</sup>) с 2010 г. постепенно создавались необходимые условия для эффективного применения ПУТ и по итогам 2013 г. расход этого заменителя кокса составил 151 кг/т, удельный расход кокса сократился с 506 до 381 кг/т чугуна, что является одним из лучших достижений на Украине (см. табл. 1).

Применение кокса улучшенного качества ПАО «Запорожжкокс» (несколько уступающего качеству кокса других предприятий – см. табл. 1), а также кокса коксохимических заводов Донбасса (в т.ч. марки «Премиум»; кокса, полученного из трамбованной шихты ПАО «Авдеевский коксохимический завод»), использование богатого по железу агломерата с умеренным содержанием мелочи, оптимизация температурно-тепловых параметров доменной плавки путем увеличения температуры дутья до 1138 °С, обеспечили достижение высоких показателей по расходу кокса и удельной производительности доменных печей, которая составила 2,02 т/м<sup>3</sup>·сутки. Суточное производство чугуна за четыре года применения ПУТ повысилось на 18,4 % – от 7719 до 9139 т.

Примечательным для этого предприятия является высокое качество ПУТ (А – 7,7 %, S – 0,26 %, летучие вещества – 20,2 %, W – 1 %), что

при оптимальной степени измельчения угля (0,06-0,1 мм) и эффективном его сжигании в фурменных очагах при помощи угольно-кислородных горелок обеспечило достаточно высокий коэффициент замены кокса углем (0,92-1 кг/кг угля) [11].

Это согласуется с формулой, предложенной Ю.С. Васильевым [10], согласно которой коэффициент замены кокса углем определяется следующим образом:

$$K_3 = 1,48 - 0,66 \left( \frac{A_{ПУТ}}{A_K} \right),$$

где в скобках дано соотношение зольностей угля  $A_{ПУТ}$  и кокса  $A_K$ .

Для рассматриваемых условий  $K_3 = 1,48 - 0,66 \cdot (7,7/11) = 1,018$  кг/кг угля.

**ММК им. Ильича.** Пять доменных печей комбината с общим полезным объемом 8635 м<sup>3</sup> и суточной выплавкой чугуна более 15 тыс. т используют ПУТ при его расходе 136,7-154,4 кг/т и удельном расходе кокса 378,8-395,4 кг/т чугуна.

Только в этом доменном цехе из четырех, приведенных в табл. 1, есть на всех печах подбункерный отсев мелочи из агломерата, и в скиповом, дополнительно просеянном агломерате, содержание мелких фракций не превышает 9 % (при контроле выхода мелочи на аглофабрике – 13,7 %). Показатели гранулометрического состава скипового кокса, в основном марки «Премиум» ПАО «Авдеевский коксохимический завод», дополнительно улучшены за счет увеличения ширины щелей нижних сеющих решеток коксовых грохотов с 25 до 28-32 мм.

Этим созданы необходимые газодинамические условия для обеспечения вдувания ПУТ в указанных количествах и сокращения расхода кокса на 125-140 кг/т чугуна.

По данным наиболее обстоятельных исследований [7 и др.] (выполненных в апреле-июне 2013 г. на доменной печи №5), расход ПУТ достигал 171,3 кг/т, удельный расход кокса снижался в этот период до 364 кг/т чугуна – на 155 кг/т, суммарный коэффициент замены кокса углем составлял 1,04 кг/кг, чему способствовали не только «компенсационные факторы», но и высокое качество угля (А – 7,65; S – 0,38; летучие вещества – 18 %). На долю факторов компенсации приходится 34 кг/т из общей экономии кокса 155 кг/т и значение суммарного коэффициента замены распределяется, соответственно, как 0,2 и 0,84 кг/кг угля.

Особенностями новой технологии являются:

– прекращение вдувания природного газа ( $37 \text{ м}^3/\text{т}$ ) вызвало увеличение на  $153 \text{ }^\circ\text{C}$  теоретической температуры горения у фурм, повышение температуры продуктов плавки, снижение выхода горновых газов на  $57 \text{ м}^3/\text{т}$  чугуна;

– внедрение комплексных мероприятий способствовало значительному (20 %) повышению удельной производительности доменных печей, что обусловлено также крайне низким ее исходным, базовым уровнем –  $1,42 \text{ т}/\text{м}^3 \cdot \text{сутки}$ ;

– снижение прихода серы от 6,8 до 4,7 кг/т чугуна в связи с уменьшением расхода кокса, снижением содержания серы в коксе и ПУТ, позволило снизить основность шлака до 1,16-1,17 ед., дополнительно экономить на этом кокс и выплавлять при этом низкосернистый чугун (S – 0,02 %).

### Выводы

1. В доменных цехах четырех металлургических предприятий Украины с производственной мощностью более 14 млн. т чугуна в год (более 40 % от общей выплавки чугуна в стране) успешно освоена технология доменной плавки с применением ПУТ в количестве 142,3-172 кг/т чугуна при сокращении удельного расхода кокса до 378,8-381 кг/т (от исходных 510-520 кг/т), что стало возможным благодаря, в основном, улучшению качества кокса в модернизированных процессах его производства, а также использованию других компенсационных факторов. Общий расход топлива (К+ПУТ+КО) составил 532-544,8 кг/т чугуна.

2. Для увеличения расхода ПУТ до 180-200 кг/т, сокращения расхода кокса до 320-350 кг/т чугуна, необходимо:

– дальнейшее улучшение показателей качества кокса, агломерата, окатышей, вдуваемого угля до уровня, приближенного к зарубежным, выше рассмотренным достижениям;

– увеличение температуры дутья до  $1150\text{-}1200 \text{ }^\circ\text{C}$ , повышение степени обогащения его кислородом до 25-30 %;

– внедрение технологии специальной подготовки кокса по фракционному составу перед загрузкой в доменные печи, предусматривающей доизмельчение крупных фракций более 80 мм, тщательный отсев фракций менее 25-40 мм, выделение из них коксового орешка крупностью 10-25(40) мм и использование его в доменной плавке;

– повышение давления колошниковых газов в доменных печах до 0,15-0,2 МПа, что является весьма важным при недостаточной газопроницаемости шихтовых материалов.

Особой проблемой является обеспечение

равномерного распределения ПУТ по отдельным фурмам. Существующая неравномерность окружного распределения ПУТ вызывает серьезные нарушения газодинамики и дренажной способности коксовой насадки в фурменной зоне.

### Список литературы

1. Перспективы применения пылеугольного топлива в доменных цехах Украины и России / С.Л. Ярошевский, А.А. Минаев, А.Н. Рыженков и др. // *Сталь*. – 2008. – №2. – С. 5-10.
2. Полная и комплексная компенсация повышения эффективности пылеугольной технологии / Ю.В. Филатов, А.В. Емченко, В.П. Ивлев и др. // *Черная металлургия*. – 2010. – №10. – С. 23-30.
3. Требования к качеству кокса для доменной плавки с использованием пылеугольного топлива и промышленный опыт производства такого кокса в Украине / А.Н. Рыженков, А.И. Гордиенко, Е.Т. Ковалев, И.В. Шульга // *Металлургические процессы и оборудование*. – 2008. – №1. – С. 16-22.
4. Повышение горячей прочности кокса (CSR) за счет изменения состава угольной шихты КХП ОАО «МК «Азовсталь» / Р.В. Ковальчик, А.А. Томаш, В.П. Тарасов и др. // *Тр. межд. науч.-техн. конф. «Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна»*. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2006. – С. 117-126.
5. Теория и практика производства доменного кокса высокого качества из трамбованных шихт пониженной спекаемости / Е.Т. Ковалев, Ю.С. Васильев, В.М. Кузниченко и др. // *Углекислотный журнал*. – 2009. – №3-4. – С. 20-25.
6. Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива на доменных печах Украины / В.И. Большаков, А.Л. Чайка, В.В. Лебедь, А.А. Сохацкий // *Металл и литье Украины*. – 2013. – №10. – С. 5-10.
7. Зинченко Ю.А., Струтинский В.А. Освоение технологии вдувания пылеугольного топлива при производстве чугуна на ПАО «ММК им. Ильича» / *Металл и литье Украины*. – 2013. – №10. – С. 11-14.
8. Теоретические и экспериментальные основы подготовки кокса к доменной плавке / А.Л. Подкорытов, А.М. Кузнецов, С.Л. Ярошевский, А.В. Кузин // *Металлург*. – 2009. – №6. – С. 34-37.
9. Ярошевский С.Л., Хлапонин Н.С. Качество шихты доменных печей, работающих с применением пылеугольного топлива / *Металлургические процессы и оборудование*. –

2008. – №2. – С. 12-15.
10. Васильев Ю.С., Дроздник И.Д. Сырьевая база для технологии вдувания ПУТ в доменные печи заводов Украины / *Металлургические процессы и оборудование*. – 2008. – №1. – С. 7-10.
  11. Blast Furnace Coke from China and Japan / D.T. Okun, J.A. Hillman, M.E. Miller, S. Koplan / *Invs. Nos. 731-TA-951-952 USITC*. Pub.3619. – 2003. – Aug. – 66 p.
  12. Peters M., Korthis B., Schmöle P. The Past, Present and Future of Pulverized Coal Injection at ThyssenKrupp Steel AG / *Proc. of 36th McMaster University Symposium on Iron and Steelmaking*, Hamilton, Ontario, Canada, September 2008. – Ontario, 2008. – P. 14-29.
  13. Плискановский С.Т., Бочка В.В., Ступак Ю.А. Основные направления совершенствования технологии приготовления и вдувания пылеугольного топлива / *Металлургические процессы и оборудование*. – 2006. – №4. – С. 28-31.
  14. Schott R., Schumacher M. Modellierung von effizientem Kohlenstaubeinblasen in den Hochofen mittels der Oxycoal-Technik (Modeling of efficient pulverized coal injection into the blast furnace by means of the Oxycoal technology) / *Stahl und Eisen* 134. – 2014. – No.5. – P. 29-38.

**I.M. Mishchenko /Cand. Sci. (Eng.), Y.Y. Aslamova**  
*Donetsk National Technical University (Donetsk)*

### THE STATE AND PROSPECTS OF PULVERIZED COAL USE IN BLAST FURNACE SHOPS OF METALLURGICAL ENTERPRISES OF UKRAINE

**Background.** Ensuring the competitiveness of steel products is possible due to decrease in specific consumption of metallurgical coke by replacing it with pulverized coal fuel (PCF). Development of technology of blast smelting with the use of PCF is relevant to metallurgical enterprises. The objective of this work is the analysis and generalization of results of PCF injection technology, identifying factors to improve its efficiency, with particular attention paid to improving the quality of coke.

**Materials and/or methods.** The task was solved by the method of tactical analysis. The application of this method of research allowed detailing the overall situation of the PCF use and identifying key factors of improving the effectiveness of this technology at metallurgical enterprises of Ukraine.

**Results.** In the course of the study it is found that blast furnace workshops of four metallurgical enterprises of Ukraine with a production capacity of more than 14 million tons/year are developing a technology of using pulverized coal in the amount of 142.3-172 kg/t of pig iron while reducing specific consumption of coke to 378.8-381 kg/t. In the blast furnace shop of PJSC "Donetsksteel" – Metallurgical Plant" it was possible to increase the effectiveness of PCF injection technology by improving the quality of coke ("Premium" mark), the quality of ironstone part of the charge, the optimization of blast-furnace smelting parameters with the exception of natural gas from the combined air blast composition. In the blast furnace shop of PJSC "Alchevsk Iron and Steel Works" to improve the efficiency of the PCF injection the complex of pulverized coal injection is created, and the quality of coke is improved due to coking of tamped coal charge. In the blast furnace shop of PJSC "Zaporizhstal" PCF flow is 151 kg/t, specific consumption of coke up to 381 kg/t of pig iron, which is one of the best achievements in Ukraine. In the blast furnace shop of PJSC "Ilyich Steel and Iron Works" (Mariupol) PCF flow is 136.7-154.4 kg/t and specific consumption of coke is 378.8-395.4 kg/t of pig iron. The necessary dynamic conditions for pulverized coal injection are created at the enterprise.

**Conclusion.** Improving the efficiency of PCF injection is possible by improving coke quality and the use of other compensatory factors. To increase the flow of pulverized coal in the conditions of Ukrainian enterprises up to 180-200 kg/t it is necessary to: further improve the quality indicators of the components of the BF charge; increase the blast temperature up to 1150-1200 °C, increase the degree of its oxygen enrichment to 25-30%; prepare coke by its fractional composition before loading into the blast furnace; increase the pressure of furnace top gases in blast furnaces to 0.15-0.2 MPa; ensure uniform PCF distribution on the tuyeres.

**Keywords:** blast furnace, pulverized coal fuel, complex compensation, coke quality.

Статья поступила 23.01.2016 г.  
 © И.М. Мищенко, Я.Ю. Асламова, 2016  
 Рецензент д.т.н., проф. С.М. Сафьянц