

Н. М. Можаренко /к. т. н./,
Ю. С. Семенов /к. т. н./, В. В. Горупаха,
Е. И. Шумельчик /к. т. н./

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова
НАН Украины (ИЧМ), г. Днепро, Украина
e-mail: yuriy.semenov.isi@gmail.com

Особенности технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива

N. M. Mozhareno /Cand. Sci. (Tech.),
Yu. S. Semenov /Cand. Sci. (Tech.),
V. V. Horupakha,
Ie. I. Schumelchik /Cand. Sci. (Tech.)/

Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute, National
Academy of Sciences of Ukraine (ISI),
Dnipro, Ukraine
e-mail: yuriy.semenov.isi@gmail.com

Features of blast furnace smelting technology using pulverized coal

Цель. Оценка особенностей технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива, определение основных направлений совершенствования технологии доменной плавки, качества железорудного сырья, кокса и углей для приготовления пылеугольного топлива.

Методика. Аналитическая оценка особенностей технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива.

Результаты. Показано, что применение пылеугольного топлива значительно ограничивает устойчивость хода доменных печей ввиду ужесточения газодинамики работы печей за счет значительного снижения расхода кокса, ухудшения условий противоточной фильтрации газов и шихты в твердом и вязко-пластичном состоянии. Достижение высоких технико-экономических показателей в таких условиях в значительной степени определяется условиями и методами распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи.

Научная новизна. Для условий доменного производства Украины систематизированы и обобщены требования, предъявляемые при освоении технологии вдувания пылеугольного топлива к качеству углей, железосодержащих материалов и кокса, подготовительным мероприятиям.

Практическая значимость. Обоснована целесообразность применения углей Кузбасса вместо углей Донбасса для приготовления пылеугольного топлива в украинских условиях доменного производства. Основными приоритетными показателями углей Кузбасса являются: низкая зольность на уровне мировых рекомендаций, низкое содержание серы, высокая размолоспособность, низкая разбухаемость угольной частицы в очаге горения, высокая калорийность, высокая температура размягчаемости минерального остатка. (Табл. 7. Библиогр.: 10 назв.)

Ключевые слова: доменное производство, доменная печь, доменная плавка, пылеугольное топливо, качество кокса, железорудное сырье.

Состояние вопроса. Доменное производство Украины последних лет, в сравнении с ведущими мировыми производителями чугуна (Китаем, Японией и Индией), находится в сложном положении – в условиях выдвигаемых требований по снижению себестоимости выплавки чугуна без необходимого объема инвестиций, направленных на модернизацию и реализацию долгосрочных инновационных проектов. Снижение себестоимости производства чугуна осуществляется в основном за счет использования низкокачественного железорудного сырья и кокса, а также при практически полном отказе от дорогостоящего природного газа с переходом на технологию вдувания пылеугольного топлива (ПУТ) [1–8]. В отдельные периоды, в случаях понижения интенсивности плавки, по тем или иным, порой конъ-

юнктурным, причинам, переходят на технологию без природного газа с увлажненным дутьем, которая способствует существенному увеличению расхода кокса на выплавку чугуна.

В то же время на металлургических предприятиях Европы, Японии, Китая и США стало эксплуатационной нормой вдувание 160÷180 кг/т чугуна ПУТ при расходах кокса 320÷340 кг/т, а на ряде современных доменных печей расход ПУТ достиг 240÷260 кг/т чугуна при расходе кокса 250÷300 кг/т чугуна. По состоянию на 2007 г. в более чем 25 странах с наиболее развитой металлургией было выплавлено около 350 млн т чугуна (≈50 % годовой выплавки в мире) с применением ПУТ, расход которого менялся от 100 до 290 кг/т чугуна. Доля замены кокса ПУТ составила от 20 % до 45 %. В 2007 г. в мире для производства ПУТ,

используемого в доменных печах, использовалось более 500 млн т угля практически всех известных марок: А, Г, Т и др. с широким диапазоном изменения содержания летучих (от 6,5 до 36,2 %) и золы (2,2÷17,5 %). Несмотря на столь широкий диапазон по зольности, в мире четко прослеживается ограничение применения ПУТ с содержанием золы более 10 % и серы более 1 %.

Анализ информации о развитии угледобывающей и металлургической промышленности в мире свидетельствует, что в перспективе, в ближайшие 20÷30 лет, технология замены части кокса ПУТ в доменной плавке останется наиболее приоритетной и эффективной. Актуальность такой технологии для Украины в последнее время значительно возросла, что обусловлено высоким уровнем расхода кокса – до 550 кг/т чугуна и более, быстро растущей тенденцией повышения стоимости природного газа. В то же время экономическое положение металлургических предприятий таково, что только резкое снижение расхода энергоресурсов, главным образом кокса, до 300÷350 кг/т чугуна за счет массового использования ПУТ обеспечит им необходимый уровень рентабельности и конкурентоспособности.

Результаты исследований. Технология доменной плавки с вдуванием в горн ПУТ получила всеобщее признание во всем мире. Накопленный опыт свидетельствует о достаточной ее гибкости в разных топливно-сырьевых условиях:

1. Железосодержащая шихта может иметь до 100 % высокоофлюсованных окатышей с массовым содержанием в них MgO до 1,6 %.

2. Допускается использование коксового «орешка» до 120 кг/т чугуна с использованием специально разработанных программ загрузки с подачей в центр крупных, отсортированных фракций кокса.

3. Загрузка в печь на периферию мелких фракций агломерата в количестве 10–20 % от массы порции агломерата, что положительно сказывается на газораспределении, уровне тепловых нагрузок на холодильники и состоянии рабочего профиля печи. В условиях Украины, ввиду низкого качества железосодержащих материалов, расход мелких фракций агломерата для этих целей не должен превышать 7–8 %.

4. Выбор уровня обогащения дутья кислородом от 23 до 35 %.

5. Использование углей с содержанием летучих веществ от 9 до 37 % и золы – от 5 до 12 %.

6. В смесях ПУТ из газовых быстровоспламеняющихся и высококалорийных углей содержание первых может изменяться от 0 до 60 %, что значительно влияет на условия сжигания смесей ПУТ.

7. Полнота и высокая эффективность сжигания ПУТ обеспечивается при различных сочетаниях

его фракционного состава, конструктивных решениях подачи кислорода в зону горения и создания соответствующих кинетических условий дожига их в горне при непременном обеспечении требуемого качества шихтовых материалов.

8. Высокие экономические показатели технологии вдувания ПУТ достигаются как при гранулированных, так и пылевидных углях.

9. Качество железорудных материалов и кокса при их поставках на металлургические заводы оценивается по общепринятым показателям. При необходимости повышения качества кокса по горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI), а также богатства железорудной шихты по отношению Fe/SiO₂ приобретаются импортные высококалорийные угли и железорудные компоненты.

10. Регулирование теоретической температуры горения в пределах 2000–2400 °С при применении ПУТ осуществляется путем увеличения или уменьшения расхода кислорода.

11. Высокие технико-экономические показатели на разных металлургических заводах достигались при разной толщине слоев железосодержащих материалов и кокса при их загрузке на поверхность засыпи [9].

Технологические преимущества вдувания ПУТ перед другими топливами предопределяются соотношениями содержания углерода к водороду в их рабочей массе и величиной теплоты, выделяемой в горне при горении топлива до CO и H₂ (табл. 1).

Анализ приведенных данных показывает, что при вдувании различных углей в горне выделяется значительно больше теплоты в сравнении с природным газом. Это говорит о необходимости значительно меньшей температурно-тепловой компенсации при вдувании ПУТ в сравнении с природным газом. Это также подтверждается и удельным выходом продуктов горения. Таким образом, вдувание ПУТ, является технологически более предпочтительным видом топлива.

Опыт эксплуатации доменных печей с использованием в качестве топливной добавки ПУТ с большими расходами (150÷200 кг/т чугуна) показывает, что переход на такую технологию требует выполнения ряда подготовительных мероприятий:

1. Оснащение доменных печей бесконусным загрузочным устройством, обеспечивающим распределение шихты по всему радиусу поверхности засыпи [1; 8–10].

2. Обеспечение отсева мелочи из железосодержащих материалов и кокса, а также разделение отсева, как минимум, на две фракции с последующей отдельной загрузкой их в печь.

Эффективность природного газа и угля различных марок при вдувании их в горн доменной печи

Показатель	Топливо					
	Кокс	Природный газ	Угли			
			Антрацит	Жирный	Газовый	Пламенный
Теплота, выделяемая в горне, ккал/кг	8359	2333	7508	6788	6541	5313
Коэффициент замены кокса, кг/кг кокса	-	1,2	1,05	1,06	1,06	1,0
Отношение С/Н	170	3,0	22,6	20,3	17,0	16,3
Выход продуктов горения, м ³ /кг	1,68	4,2	1,92	2,01	2,06	1,97

3. Обеспечение внепечного обессеривания чугуна при использовании высокосернистого ПУТ.

4. Повышение содержания железа в металлошихте. Это мероприятие является обязательным потому, что на каждые 100 кг/т чугуна вдуваемого ПУТ выход шлака должен снижаться на 40÷50 кг/т чугуна. На отдельных печах для этой цели вводят железо прямого восстановления.

5. Обеспечение требуемого качества кокса путем изменения марочного состава угольной шихты и принятия технологических мер по снижению реакционной способности и повышению горячей прочности.

По оценке Американского института чугуна и стали, ухудшение показателей качества кокса на 1 % от оптимальных значений приводит к увеличению расхода кокса (в кг/т чугуна) в пропорциях, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Влияние изменений показателей качества кокса на его расход

Изменение показателей качества кокса	Увеличение расхода кокса, кг/т чугуна
Увеличение влажности кокса при температуре колошника менее 107 °С	2,5
Увеличение содержания золы	10,0
Увеличение содержания серы на 0,1 %	5,0
Уменьшение показателя горячей прочности кокса (CSR) при его значениях:	
> 58 %	0,75
< 58 %	1,50

При вдувании ПУТ большое значение придается и уровню показателей холодной прочности кокса. Как правило, показатели холодной прочности кокса, поступающего на доменные печи с технологией вдувания в горн ПУТ, увеличиваются от номинальной величины на 1,5÷2,0 %.

Немаловажное влияние на эффективность технологии оказывает и качество вдуваемого угля. Особенно важными являются содержание золы,

от которого зависит коэффициент замены кокса, и содержание серы, ввиду того, что приход ее в печь может потребовать развития промежуточного технологического звена – внепечной обработки чугуна по удалению серы. Увеличение же количества шлака и повышение его основности в доменной плавке при вдувании больших количеств ПУТ невозможно без нарушения ровности хода печи. Для предупреждения зарастания фурм температура плавления золы ПУТ должна быть не ниже 1400 °С.

При вдувании больших количеств угольной пыли достигается, естественно, и значительное снижение расхода кокса, однако при этом появляется целый ряд негативных явлений:

1. Уменьшение толщины слоя кокса при распределении материалов на поверхности засыпи ухудшает газопроницаемость коксового окна в зоне вязко-пластичного состояния.

2. Снижается газопроницаемость столба шихты в печи в целом.

3. Увеличивается время пребывания кокса в рабочем пространстве печи, что приводит к разрушению кокса, накоплению его мелких фракций.

4. Увеличение количества коксовой мелочи и несгоревших частичек ПУТ в металлоприемнике печи приводит к ухудшению дренажа шлака.

5. Сокращается зона циркуляции кокса, что вызывает ухудшение хода печи и способствует развитию периферийного хода.

6. Высокая рудная нагрузка обуславливает уплотнение столба шихты, что при остановке печи затрудняет ее последующий пуск.

7. Увеличивается вынос пыли и доля углерода в ней.

Затруднения в работе печи, обусловленные применением больших расходов пыли, создают условия для снижения относительной производительности доменной печи. Основное влияние на снижение производительности оказывает вынужденное снижение расхода кислорода обогащения дутья из-за резкого возрастания теоретической температуры горения.

Таким образом, вдувание ПУТ в зарубежной практике уже при расходах 150÷160 кг/т чугуна

Современные показатели качества кокса, обеспечивающие вдувание в горн больших количеств ПУТ

Показатели качества	Требуемый уровень
Показатель прочности M25, %	≥ 87,0
Показатель прочности M40, %	≥ 87,0
Показатель истираемости M10, %	≤ 5,5
Содержание фракции +80 мм, %	≤ 5,0
Содержание фракции -40 мм, %	≤ 10,0
Влажность, %	≤ 0,5
Прочность после обработки CO ₂ (стандарт ISO) CSR, %	≥ 67,0
Реакционная способность по ГОСТ 10089-89, ед.	18-20
Реакционная способность по ISO CSI, %	23-26
Зольность, %	9-10

Таблица 4

Современные показатели качества агломерата, обеспечивающие вдувание в горн больших количеств ПУТ

Показатели качества	Требуемый уровень
Допустимое отклонение содержания железа от среднего, %	±0,5
Допустимое отклонение от среднего по основности, ед.	±0,05
Допустимое отклонение от среднего содержания FeO, %	±1,0
Содержание фракции -5 мм в скиповом агломерате	≤ 5,0
Выход фракции +5 мм при испытаниях на прочность по ГОСТ 15137-77, %	≥ 80,0
Выход фракции +5 мм после восстановления по ГОСТ 19575-84, %	≥ 50,0
Выход фракции -0,5 мм при испытаниях на истираемость по ГОСТ 15137-77, %	≤ 4,0
Выход фракции -0,5 мм после восстановления по ГОСТ 19575-84, %	≤ 5,0
Перепад давления газа в слое при восстановлении по ГОСТ 21707-76, Па (мм вод. ст.)	≤ 147 (15)

при стартовом удовлетворительном качестве железосодержащих материалов и кокса потребовало рационального подбора состава шихты, особенно доли окатышей повышенного качества. При этом с ростом доли окатышей в шихте и количества несгоревших частиц ПУТ возрастает вязкость конечного шлака.

При постановке цели – обеспечить вдувание больших количеств ПУТ практикой однозначно показано, что для этого необходимо выполнить мероприятия по повышению качества железорудных материалов и кокса. Требуемые современные качественные показатели кокса и агломерата представлены в табл. 3 и 4.

Исходя из современных требований доменной плавки, стабильность кокса должна отвечать следующим показателям:

- 1) прочность по действующему стандарту:
 - показатель M25: ± 1,0 %;
 - показатель M10: ± 0,5 %;
 - по остатку в барабане Сундгрена: ± 5,0 кг;
 - по провалу в барабане Сундгрена: ± 2,0 кг;
 - по горячей прочности CSR: ± 1,0 %;
 - по реакционной способности CRI: ± 1,0 %;
- 2) содержание влаги: ± 0,2 %;
- 3) содержание нелетучего углерода: ± 0,5 %;
- 4) содержание серы: ± 0,05 %;
- 5) содержание летучих: ± 0,1 %;
- 6) содержание в золе:
 - Fe_xO_y ± 0,2 %;
 - O₂ ± 1,0 %;
 - O₃ ± 0,5 %;
 - CaO ± 0,2 %;
 - MgO ± 0,1 %;
 - S ± 0,1 %.

Практика эксплуатации доменных печей с высоким расходом ПУТ показывает, что максимальная степень сжигания частиц ПУТ в окислительной зоне обеспечивается высокой температурой дутья и рациональным соотношением содержания O₂ в дутье и количества топлива по сечению фурмы или в окислительной зоне, а также регулированием расхода топлива пропорционально расходу дутья на каждой фурме. Большая роль в достижении высокой степени использования газа принадлежит условиям и методам распределения шихты [8–10].

Техническая характеристика марок каменных углей для производства ПУТ в условиях Украины

При анализе особенностей технологии доменной плавки с применением ПУТ неоднократно подчеркивалось значительное влияние его качественных показателей на экономическую эффективность доменной плавки. К ним в первую очередь следует отнести калорийность, содержание углерода, физико-химические свойства

минеральной части, а в последние 10 лет и содержание летучих, помимо способности и интенсивности вспучивания угольной частицы в зоне факела горения. Причем вопросам выбора технологических свойств углей для производства ПУТ во всех периодах освоения этой технологии придавалось большое значение. Поиск наиболее пригодных, по выше перечисленным показателям углей на территории стран бывшего СССР, осуществляется на базе двух угольных месторождений: Донбасса и Кузбасса. Наиболее интенсив-

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

но эта работа велась в Украине. В результате к концу XX ст. была определена целесообразность привлечения для производства ПУТ углей марок АСШ, ДГ, Т. Практика работы доменных цехов Донецкого металлургического завода и комбината «Запорожсталь» показала, что наибольший эффект достигается при применении ПУТ из смеси таких углей. Разработанные в ИЧМ в период 1990–2010 гг. технологические задания для доменных печей комбинатов: «Запорожсталь», «Днепропетровский металлургический комбинат» (Каменское) и «Алчевский металлургический комбинат» были ориентированы на смеси из углей ДГ, Т и АСШ.

Технический анализ и рабочая масса углей для приготовления ПУТ из углей Донбасса представлены в табл. 5 и 6.

Угли таких марок постоянно использовали в доменном цехе Донецкого металлургического завода. С использованием углей таких марок работал на первой стадии освоения технологии доменной плавки с применением ПУТ и доменный цех комбината «Запорожсталь» [4].

Практика использования этих углей показала ряд недостатков. Основными из них являются:

- высокая зольность (постоянно выше 10 %);
- высокая сернистость – $1,5 \div 2,0$ %;
- пониженная температура размягчения минеральной части, что приводило к постоянному зарастанию воздушных фурм;
- повышенный размер частиц ПУТ;

– повышенные затраты энергии при помолке углей.

Эти недостатки предопределили поиск углей с более высокими качественными показателями. Поиск перспективных углей для производства ПУТ был начат еще в конце 80-х годов прошлого столетия. Специальной комиссией Министерства черной металлургии перспективными углями для производства ПУТ были рекомендованы угли Бачатского и Краснобродского угольных разрезов. Позже баланс углей для производства ПУТ был расширен за счет ряда шахт.

В последние годы металлургические предприятия Украины: «Днепропетровский металлургический комбинат» (Каменское), комбинат «Запорожсталь» [4], «Енакиевский металлургический завод» [10] и «Алчевский металлургический комбинат» используют для производства ПУТ марки углей СС Бачатского угольного разреза. Показатели качества ПУТ из смеси этих углей и углей Донбасса представлены в табл. 7.

Из приведенных данных видно, что содержание золы в рабочей массе в углях типа СС не превышает 8,5 % и соответствует нормам, принятым в мировой практике. Кроме того, учитывая высокий выход шлака при работе доменных печей на бедном железорудном сырье, эти угли будут положительно влиять на газопроницаемую способность в нижней части печи.

Большое положительное влияние на формирование жидких продуктов плавки имеет низкое содержание в них серы – 0,20 %. Это позволяет

Таблица 5

Технический анализ углей (ПУТ)

Состав	Марки углей			
	ДГ	Т	АСШ	Смесь
A^d , %	7,0–12,0	9,0–14,0	12,0	11,13
S^d_{tr} , %	1,6	2,0	2,0	1,89
V^{daf} , %	40,0	12,0	3,5	16,07
W^r , %	11,0	10,0	11,0	10,67
S^d органическая, %	0,9	1,2	1,2	1,12
S^d колчеданная, %	0,7	0,8	0,8	0,77

Таблица 6

Показатели качества расчетного состава ПУТ (ДГ = 26,67 %; Т = 33,33 %; АСШ = 40 %)

Ср	Нр	Ор	Sp	Np	Ар	Wp
84,10	0,66	1,01	1,89	0,26	11,01	1,07

Таблица 7

Показатели качества пылеугольного топлива

Виды ПУТ	W^p	C^p	H^p	O^p	N^p	S^p	A^p
100% ССМСШ	1,00	79,82	4,21	4,12	2,15	0,20	8,50
50 % ДГ + 30 % Т + 20 % АСШ	1,00	78,50	4,25	2,74	1,33	1,58	10,6
27 % ДГ + 33 % Т + 40 % АСШ	1,00	78,9	3,91	2,21	1,32	1,66	11,00

без особого риска снижения качества чугуна работать с основностью шлака $1,15 \div 1,17$ ед. Содержание летучих веществ (газов) в углях ССМСШ, составляющее 22,1 %, соответствует оптимальному уровню этого параметра. Такой уровень летучих веществ при наличии в рабочей массе повышенного содержания водорода – 4,21 % и кислорода – 4,12 % при содержании азота 2,15 % свидетельствует о повышенной их пиррофорности (возгораемости), что должно положительно сказываться на полноте сжигании ПУТ в фурменной зоне. Содержание углерода в рабочей массе – 79,82 % обеспечивает высокую теплотворную способность (8401 ккал/кг). Следует отметить еще два важных показателя, характеризующих эти угли, таких как индекс размолоспособности по Хардгроув (HGI) и индекс свободного вспучивая (FSI).

Угли марки ССМСШ имеют практически максимальный уровень размолоспособности, что в значительной степени повышает тонины помола и улучшает условия эксплуатации помольных средств. Повышение тонины помола повышает полноту сжигания частиц ПУТ, что наряду с другими факторами позволяет увеличить расход ПУТ до 160 кг/т чугуна и ставить вопрос о возможности дальнейшего увеличения расхода ПУТ до 170–180 кг/т чугуна.

Индекс свободного вспучивания угольной частицы этой марки угля значительно меньше, чем для углей Донбасса, что улучшает газодинамику низа печи. Практика сжигания углей показывает, что при переходе на угли марки ССМСШ, в сравнении с углями ДГ, АСШ и Т Донбасса, снижается газонапряженность главным образом в нижней части печи и устраняется коксование ПУТ в дутьевом канале воздушных фурм.

Заключение. Приведена аналитическая оценка особенностей технологии доменной плавки с применением ПУТ, которая однозначно показывает, что её применение значительно ограничивает устойчивость хода доменных печей. В основном это вызвано ужесточением газодинамических условий работы печей за счет значительного снижения расхода кокса, а также ухудшением условий противоточной фильтрации газов и шихты в твердом и вязкопластичном состоянии, достижение высоких технико-экономических показателей в таких условиях в значительной степени определяется условиям и методам распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи. Показаны основные направления совершенствования технологии доменной плавки, качества железорудного сырья, кокса и углей для приготовления ПУТ. Показана техническая целесообразность применения углей Кузбасса вместо углей Донбасса. Основными приоритетными по-

казателями углей Кузбасса являются: низкая зольность на уровне мировых рекомендаций, низкое содержание серы, высокая размолоспособность, низкая разбухаемость угольной частицы в очаге горения, высокая калорийность, высокая температура размягчаемости минерального остатка. Замена углей Кузбасса на смесь углей Донбасса для вдувания ПУТ в доменные печи значительно ухудшит технико-экономические показатели доменной плавки и снизит коэффициент замены кокса ПУТ, а ухудшение кинетических характеристик горения частиц ПУТ в струе дутья может привести к значительным расстройкам хода печи и повышению себестоимости конечного чугуна, перекрывающего экономию закупочной стоимости углей для ПУТ при уменьшении межремонтного периода работы печей.

Библиографический список / References

1. Большаков В. И. Применение в Украине технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива / В. И. Большаков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2011. – Вып. 23. – С. 30–36.

Bol'shakov V. I. (2011). *Primeneniye v Ukraine tekhnologii domennoy plavki s vduvaniyem pyleugol'nogo topliva* [Application in Ukraine of blast furnace smelting technology with injection of pulverized coal]. *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii* [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy]. No. 23, pp. 30–36.

2. Филатов Ю. В. Совершенствование и повышение эффективности доменной технологии на основе применения пылеугольного топлива (ПУТ) / Ю. В. Филатов, А. В. Емченко, В. Е. Попов, А. И. Дрейко, С. Л. Ярошевский, Т. А. Ивлева // Металл и литье Украины. – 2011. – № 9–10. – С. 11–15.

Filatov Yu. V., Yemchenko A. V., Popov V. E., Dreyko A. I., Yaroshevskiy S. L., Ivleva T. A. (2011). *Sovershenstvovaniye i povysheniye effektivnosti domennoy tekhnologii na osnove primeneniya pyleugol'nogo topliva (PUT)* [Improvement and efficiency increase of blast-furnace fuel technology (PCI)]. *Metall i lit'ye Ukrainy* [Metal and foundry of Ukraine]. No. 9–10, pp. 11–15.

3. Авдеев Р. В. Опыт использования пылеугольного топлива в нестабильных сырьевых условиях доменной плавки / Р. В. Авдеев, Г. Ю. Крячко // Сталь. – 2011. – № 3. – С. 4–9.

Avdeev R. V., Kryachko G. Yu. (2011). *Using coal-dust fuel in blast furnaces with unstable batch quality*. *Steel in translation*, March, vol. 41, issue 3, pp. 215–220.

4. Набока В. И. Освоение технологии вдувания пылеугольного топлива в доменном цехе ОАО «Запоржсталь» / В. И. Набока, А. П. Фоменко,

С. Е. Сафонов, М. Е. Шарапов, В. В. Кравчук // Сталь. – 2013. – № 10. – С. 8-12.

Naboka V. I., Fomenko A. P., Safonov S. E., Sharapov M. E., Kravchuk V. V. (2013). *Pulverized-coal injection in blast furnaces at OAO Zaporozhstal'*. Steel in translation, October, vol. 43, issue 10, pp. 647-651.

5. Зинченко Ю. А. Освоение технологии вдувания пылеугольного топлива при производстве чугуна на ПАО «ММК им. Ильича» / Ю.А. Зинченко, В.А. Струтинский // Металл и литье Украины. – 2013. – № 10. – С. 11-14.

Zinchenko Yu. A., Strutinskiy V. A. (2013). *Osvoyeniye tekhnologii vduvaniya pyleugol'nogo topliva pri proizvodstve chuguna na PAO "MМК im. Il'icha"* [Mastering the technology of blowing pulverized coal in the production of pig iron at PJSC "Ilyich Iron And Steel Works"]. *Metall i lit'ye Ukrainy* [Metal and foundry of Ukraine]. No. 10, pp. 11-14.

6. Кузнецов М. С. Изменение свойств шлака и нагрева чугуна при вдувании природного газа и пылеугольного топлива в горн доменной печи / М. С. Кузнецов, Г. Ю. Крячко, Н. Н. Валуева, Ю. К. Лебедь // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2016. – № 4 – С. 3-7.

Kuznetsov M. S., Kryachko G. Yu., Valuyeva N. N., Lebed' Yu. K. (2016). *Izmeneniye svoystvo shlaka i nagreva chuguna pri vduvanii prirodnogo gaza i pyleugol'nogo topliva v gorn domennoy pechi* [Change in the properties of slag and heating of pig iron when blowing natural gas and pulverized coal in a blast furnace]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and mining industry]. No. 4, pp. 3-7.

7. Пинчук Д. В. Опыт внедрения и пути решения проблем освоения технологии вдувания ПУТ на доменной печи объемом 5000 м³ / Д. В. Пинчук, П. И. Оторвин, А. В. Романчук, В. П. Лялюк, Д. А. Кассим // Актуальні проблеми розвитку металургійної науки та освіти. Наукові праці всеукраїнської науково-технічної конференції, присвяченої 100-річчю з дня народження Г.Г. Єфіменка. – Дніпро: Літограф, 2016. – С. 122-128.

Pinchuk D. V., Otorvin P. I., Romanchuk A. V., Lyalyuk V. P., Kassim D. A. (2016). *Opyt vnedreniya i puti resheniya problem osvoyeniya tekhnologii vduvaniya PUT na domennoy pechi ob'ємom 5000 m³* [Experience of implementation and ways of solving the problems of mastering the technology of PCI on a blast furnace with the volume of 5000 m³]. *Aktual'ni problemy rozvytku metalurhiynoyi nauky ta osvity. Naukovi pratsi vseukrayins'koyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi, prysvyachenoyi 100-richchyu z dnya narodzhennya H.H. Yefimenka* [Actual problems of the development of metallurgical science and education. Scientific works of the All-Ukrainian scientific and technical conference devoted to the 100th anniversary of the

birth of G. G. Efimenko]. Dnipro, Litograf, 2016, pp. 122-128.

8. Подкорытов А. Л. Особенности освоения технологии вдувания пылеугольного топлива на ЕМЗ / А. Л. Подкорытов, А. М. Кузнецов, А. В. Зубенко, Ю. С. Семенов, А. С. Нестеров, Е. И. Шумельчик. – Сталь, 2017. – № 5. – С. 2-8.

Podkorytov A. L., Kuznetsov A. M., Zubenko A. V., Semenov Yu. S., Nesterov A. S., Shumel'chik E. I. (2017). *Introduction of Pulverized-Coal Injection at Yenakiieve Iron and Steel Works*. Steel in translation, May, vol. 47, issue 5, pp. 313-319.

9. Семенов Ю. С. Выбор рациональных режимов загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, для условий работы с малой массой подачи и с нестабильным качеством шихтовых материалов / Ю. С. Семенов // Черная металлургия. – 2013. – № 12. – С. 14-19.

Semenov Yu. S. (2013). *Vybor ratsional'nykh rezhimov zagruzki domennoy pechi, oborudovannoy BZU, dlya usloviy raboty s maloy massoy podachi i s nestabil'nym kachestvom shikhtovykh materialov* [The choice of rational modes of charging a blast furnace equipped with a BLT for working conditions with a low mass of feed and with an unstable quality of charge materials]. *Chernaya metallurgiya* [Ferrous Metallurgy]. No. 12, pp. 14-19.

10. Семенов Ю. С. Управление распределением шихтовых материалов в доменной печи при вдувании ПУТ с использованием информации термозондов / Ю. С. Семенов, Е. И. Шумельчик, В. В. Горупаха, А. М. Кузнецов, А. В. Зубенко, А. Г. Коваленко // Сталь. – 2017. – № 6. – С. 7-11.

Semenov Yu. S., Shumelchik E. I., Gorupaha V. V., Kuznetsov A. M., Zubenko A. V., Kovalenko A. G. (2017). *Upravleniye raspredeleniyem shikhtovykh materialov v domennoy pechi pri vduvanii PUT s ispol'zovaniyem informatsii termozondov* [Controlling the distribution of charge materials in a blast furnace when blowing a PCI using information from thermal probes]. *Stal'* [Steel]. No. 6, pp. 7-11.

Purpose. Evaluation of the peculiarities of blast furnace smelting technology using pulverized coal, identification of the main directions for improving the technology of blast furnace smelting, the quality of iron ore, coke and coal for the preparation of pulverized coal.

Methodology. Analytical evaluation of the peculiarities of blast furnace smelting technology using pulverized coal.

Findings. It is shown that the use of pulverized coal significantly limits the stability of the blast furnaces due to the tightening of the gas dynamics of the furnace operation due to a significant reduction in coke consumption, deterioration of countercurrent filtration of gases and batch in the solid and viscous-plastic state, achievement of high technical and economic indicators in such conditions, to a considerable extent, is determined by the conditions and methods of distribution of charge materials on the top of the blast furnace.

Originality. For the conditions of blast furnace production of Ukraine, the requirements for developing the technology of injection of pulverized coal to the quality of coals, iron-containing materials and coke, preparatory measures are systematized and generalized.

Practical value. The expediency of using coals of Kuzbass instead of coals of Donbas for the preparation of pulverized coal in the Ukrainian conditions of blast-furnace production is substantiated. The main priority indicators of Kuzbass coal are: low ash content at the level of world recommendations, low sulfur content, high grindability, low

swelling of the coal particle in the combustion site, high caloric content, high softening point of the mineral residue.

Key words: blast furnace ironmaking, blast furnace, blast furnace smelting, pulverized coal, coke quality, iron ore.

Рекомендована к публикации
д. т. н. А. К. Таракановым

Поступила 01.08.2017



УДК 669.162

Наука

В. П. Лялюк /д. т. н./, А. К. Тараканов /д. т. н./,
Д. А. Кассим /к. т. н./
П. И. Оторвин /к. т. н./, Д. В. Пинчук

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепро, Украина
«АрселорМиттал Кривой Рог», г. Кривой Рог, Украина

Сравнение технологий доменной плавки при загрузке кускового антрацита и вдувании пылеугольного топлива

V. P. Lyalyuk /Dr. Sci. (Tech.),
A. K. Tarakanov /Dr. Sci. (Tech.),
D. A. Kassim /Cand. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine

P. I. Otorvin /Cand. Sci. (Tech.)/, D. V. Pinchuk

«ArcelorMittal Kryvoy Rog», Kryvoy Roh, Ukraine

Comparison of blast furnace technologies with anthracite lump loading and pulverized coal injection

Цель. Сравнить результаты использования на одной печи двух технологий доменной плавки – с загрузкой через колошник кускового антрацита и с вдуванием ПУТ.

Методика. Анализ технико-экономических показателей работы доменной печи в периоды максимальных среднемесячных расходов кускового антрацита и ПУТ.

Результаты. Показано, что в современных условиях доменной плавки технология загрузки в печь кускового антрацита, которая не требует капитальных вложений, может конкурировать с современной технологией вдувания ПУТ – естественно, только до определенного расхода ПУТ, обусловленного технологическими возможностями.

Научная новизна. Установлены факторы, при которых технология доменной плавки с вдуванием ПУТ не имеет преимуществ перед технологией загрузки через колошник кускового антрацита.

Практическая значимость. На доменных печах, где еще не используется технология вдувания ПУТ и где предварительными условиями её освоения должны быть обеспечение печей коксом и железорудным сырьем высокого качества, а также подготовка самой печи и всех ее систем к внедрению ПУТ, технология загрузки в доменные печи кускового антрацита является экономически более оправданной. Особенно эта технология эффективна при ограничениях производительности печей из-за проблем с реализацией готовой продукции, когда печи переводят в низкоинтенсивный режим работы и когда на первый план выходит решение проблем экономики предприятия. (Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.)

Ключевые слова: доменная плавка, пылеугольное топливо, кусковый антрацит, загрузка печи, расход кокса.