

УДК 669.162.267.4:662.87

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВДУВАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ЕМЗ*

А. Л. Подкорытов¹, А. М. Кузнецов¹, А. В. Зубенко¹,
Ю. С. Семенов^{2,3}, А. С. Нестеров², Е. И. Шумельчик^{2,3}¹ ЧАО «Енакиевский металлургический завод» (г. Енакиево, Украина),² Институт черной металлургии НАН Украины (г. Днепр, Украина),³ ООО «Научно-техническое предприятие ДЧМ» (г. Днепр, Украина)

Представлены результаты освоения вдувания пылеугольного топлива в доменном цехе ЧАО «Енакиевский металлургический завод» в 2016 г. Выполнен анализ состояния футеровки шахты и горна доменных печей. Разработаны требования к выбору рациональных режимов загрузки, реализация которых позволила обеспечить эксплуатационную стойкость системы охлаждения и безаварийную работу доменных печей.

Ключевые слова: доменная печь, пылеугольное топливо, качество шихтовых материалов, программа загрузки, футеровка шахты, футеровка горна.

Доменное производство Украины в последние годы переходит на технологию вдувания пылеугольного топлива (ПУТ), освоение ее в большинстве случаев идет без предварительного совершенствования системы охлаждения, модернизации системы шихтоподачи и загрузочного устройства, уровня автоматизации, а также без соблюдения требований к качеству железосодержащих материалов и кокса. Работа доменных печей (ДП) Украины на ПУТ в таких условиях требует особого подхода к управлению процессом плавки, что при оснащении ДП современными средствами контроля позволяет технологическому персоналу принимать эффективные решения как по изменению параметров режима загрузки, так и по корректировке дутьевого режима. Следует отметить, что эффективное использование ПУТ наряду с обеспечением требований к качеству углей, железорудных материалов, доменного кокса и конструктивным особенностям воздушных фурм — их «высову», диаметру и углу наклона [1 – 3] в значительной степени определяется применением рациональных режимов загрузки, реализация которых возможна только бесконусными загрузочными устройствами, являющимися в этих условиях безальтернативными [4].

В доменном цехе ЕМЗ в 2016 г. начали освоение технологии вдувания ПУТ на ДП-5 с 01.03.2016 и на ДП-3 с 20.04.2016. Ввиду сложной обстановки на Донбассе пуск установки вдувания ПУТ осуществлялся специалистами завода посредством телеконференц-связи с поставщиками оборудования — немецкой фирмой Küttner [5]. Основные конструктивные характеристики и перечень основных средств контроля ДП-5 и ДП-3 ЕМЗ представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Комплекс приготовления и вдувания ПУТ в горны доменных печей ЕМЗ включает: секцию разгрузки и хранения сырого угля; участок смешивания углей; установку отбора проб угля; участок грохочения и до-

драблывания углей; установку сушки и помола угольного сырья, оснащенную двумя вертикальными мельницами (производительностью 52,5 т/ч); установку

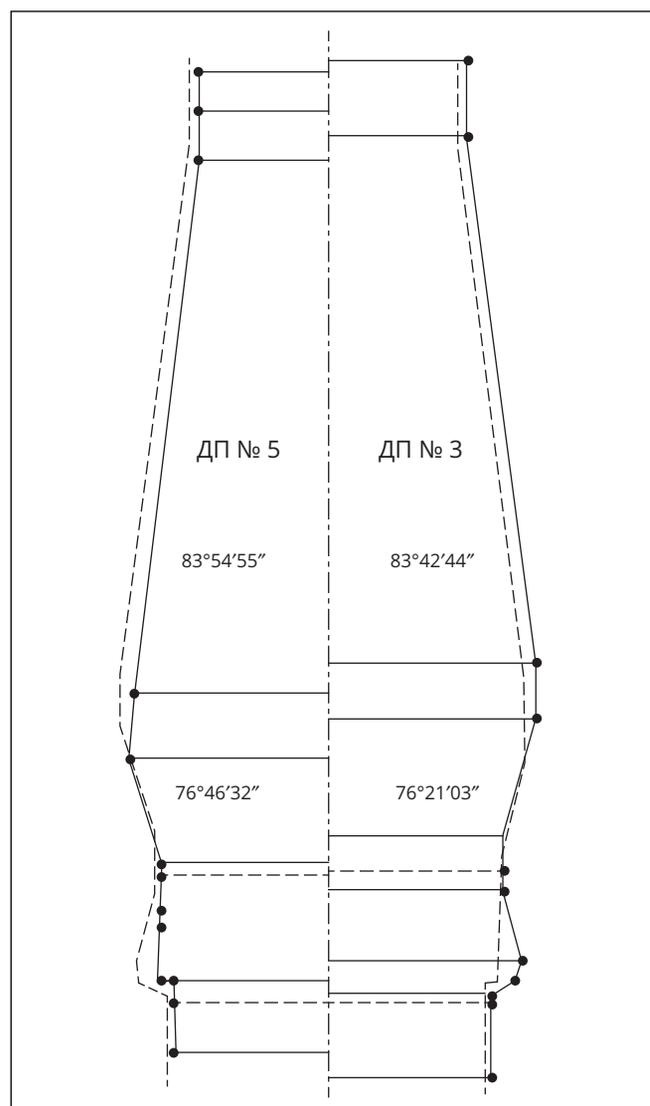


Рис. 1. Сравнительная схема профилей ДП-5 и ДП-3 ЕМЗ относительно осей ЧЛ

* В работе принимали участие А. Г. Коваленко, Е. В. Белых, А. С. Хайбулаев (ЕМЗ); В. В. Горупаха, Н. М. Можаренко (ИЧМ).

Таблица 1. Основные конструктивные характеристики и перечень основных средств контроля ДП-5 и ДП-3 ЕМЗ

Наименование	ДП-5	ДП-3
Пуск после реконструкции, дата	29.06.2007	18.10.2011
Полезный объем, м ³	1513	1719
Шоткретирование шахты после пуска, даты	Октябрь 2009; июль 2011; ноябрь 2013; ноябрь 2016	Июнь 2014; сентябрь 2016
Радиус колошника, м	3,40	3,60
Загрузочное устройство	Клапанное двухконусное	Однотрактное бесконусное фирмы «P. Wurth»
Высота цилиндрической части колошника, м	2,70	2,30
Высота шахты, м	16,40	16,20
Количество, шт.:		
чугунных леток	2	2
воздушных фурм	20	24
стационарных термозондов над поверхностью засыпи шихты	4	4
электромеханических зондов	2	1
радиолокационных уровнемеров	0	2
газоотводов	4	4
термопар:		
периферийного газового потока	16	16
футеровки шахты, распара и заплечиков	40 + 16*	56
тела холодильников шахты	30	—

* Восстановлены в период последнего ремонта с шоткретированием шахты, 16 термопар дополнительно продублированы в теплонапряженной зоне (над второй чугунной леткой)

вдувания ПУТ. Комплекс для вдувания ПУТ в доменные печи ЕМЗ оснащен также системой ОХУСОАЛ (кислородно-угольной технологии), освоение которой было запланировано после относительной стабилизации поставок сырья. Для производства ПУТ на ЕМЗ в 2016 г. использовали угли марки СС Бачатского угольного разреза, состав и свойства которых соответствуют нормам, принятым в мировой практике. Содержание углерода в рабочей массе этих углей 79,82 %, зольность $\geq 8,5$ %, содержание летучих веществ 22,1 %, содержание серы 0,20 %. Отметим еще два важных показателя, характеризующих эти угли, — индексы размолоспособности по Хардгроув (*HGI*) и свободного вспучивания (*FSI*). Угли СС имеют практически максимальный уровень размолоспособности, что значительно повышает тонину помола и улучшает условия эксплуатации помольных средств. Повышение *HGI* увеличивает степень догораемости частиц ПУТ, снижая энергозатраты, что наряду с другими факторами позволяет увеличивать расход ПУТ до 160 кг/т чугуна и более; *FSI* этого угля улучшает газодинамику низа печи и устраняет коксование ПУТ в дутьевом канале воздушных фурм.

С учетом сложных организационных и экономических особенностей в регионе качество кокса, используемого в доменном цехе ЕМЗ, не соответствовало эксплуатационным требованиям технологии доменной плавки с применением ПУТ. В табл. 2 приведены характеристики кокса в период освоения технологии вдувания ПУТ на ДП-5 и ДП-3 после полного вывода из состава дутья природного газа до проведения капитального ремонта с шоткретированием шахт домен-

ных печей в сравнении с требуемыми показателями качества кокса при вдувании ПУТ.

Кроме того, используемый на ДП количественный и качественный состав железорудного сырья в этот период также имел нестабильный характер. Содержание привозных окатышей производства СевГОК ($\text{CaO/SiO}_2 = 0,05$) в смеси с агломератом изменялось от 10 до 75 %, количество агломерата производства местной аглофабрики основностью 1,4 с высоким содержанием вторичных ресурсов обуславливало необходимость дополнительных поставок агломерата производства ЮГОК основностью 1,6, общее содержание железа в шихте с известняком в период освоения ПУТ составляло 54,8 %.

Переход на технологию ПУТ с увеличением производительности доменных печей при пониженном качестве шихтовых материалов и слабой интенсивности обновления коксовой насадки вызывает необходимость промывок на постоянной основе («мягких» промывок). В доменном цехе ЕМЗ для поддержания удовлетворительных свойств первичных, промежуточных и конечных шлаков в составе доменной шихты используют Mn-содержащие материалы, в частности марганцевую руду; MnO снижает вязкость промежуточных шлаков и уменьшает температуру плавления смеси железорудной части шихты. На второй стадии, при попадании в нижнюю высокотемпературную зону, часть марганца восстанавливается в ней с газификацией углерода в нижней части доменной печи, способствуя ускорению обновления коксовой насадки и стабилизации нагрева продуктов плавки.

Исследования, проведенные до начала освоения технологии вдувания ПУТ, показали, что в услови-

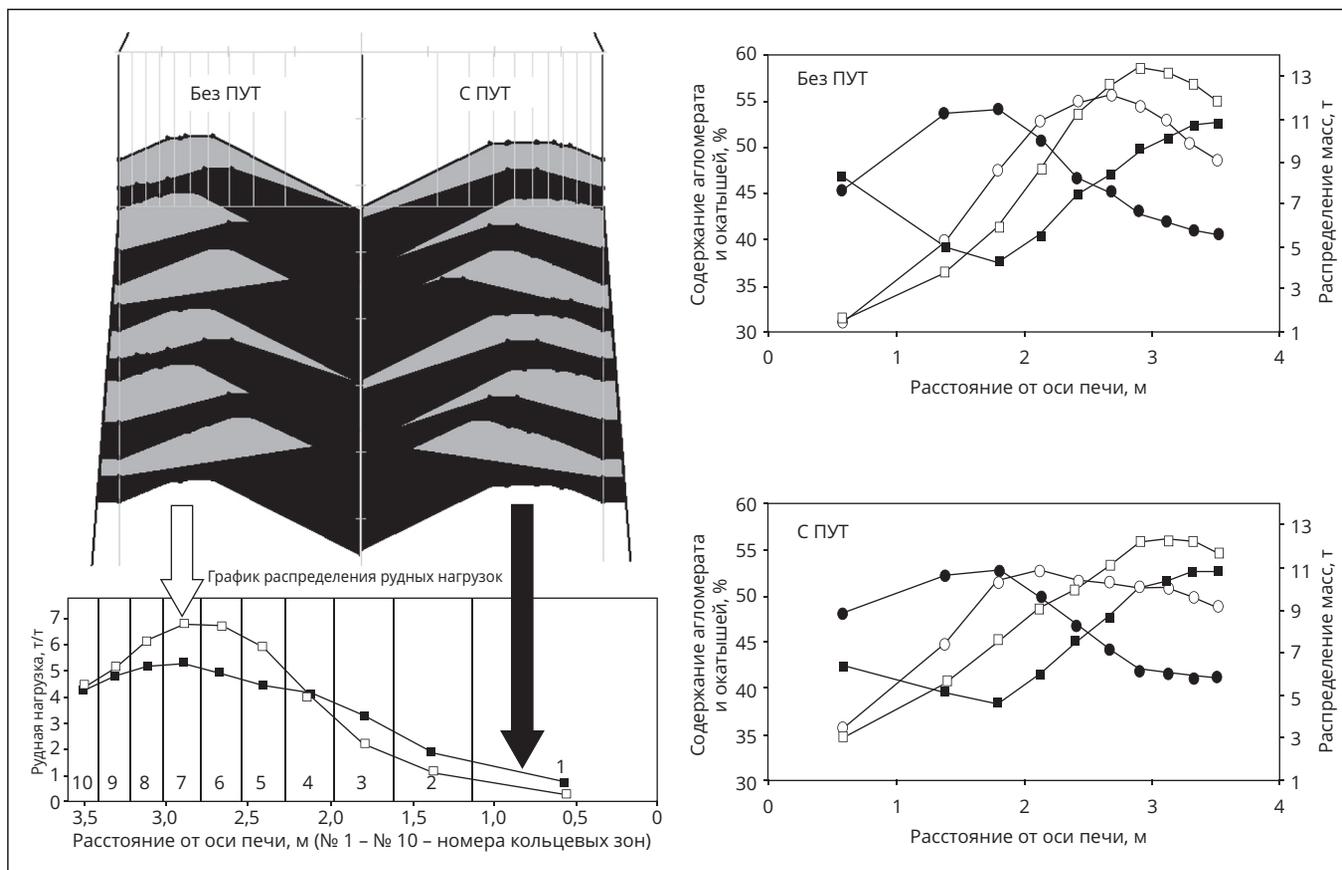


Рис. 2. Расчетная структура слоев шихтовых материалов, распределение рудных нагрузок и компонентов шихты по радиусу печи для двух рациональных программ загрузки ДП-3 (без ПУТ и с ПУТ); ■ — агломерат; ● — окатыши СевГОК; □ — масса агломерата, т; ○ — масса окатышей, т

ях работы ДП ЕМЗ на коксе пониженного качества увеличение содержания MnO в шихте на 1 кг/т чугуна уменьшает расход кокса на ~ 2,7 – 3,9 кг/т за счет организации «мягкой» промывки горна от кокса мелких фракций и, как следствие, стабилизации нагрева чугуна; коэффициент перехода марганца в чугун при этом ~ 0,47 ± 0,03. Использование Mn-содержащих материалов при освоении технологии вдувания ПУТ на ЕМЗ в количестве ~ 25 кг/т чугуна позволило повысить технологичность доменной плавки и расширило возможности ее управления при нестабильном поступлении сырья.

Переход на технологию вдувания ПУТ в сложившихся условиях работы доменного цеха обусловил необходимость корректировки режима загрузки на ДП: при вдувании в горн ПУТ возможны недостаточно развитое центральное газораспределение и чрезмерно развитый периферийный поток газов. При этом технология вдувания ПУТ должна предусматривать увеличение производительности печи, один из способов достижения которого — обеспечение более развитой газопроницающей способности, по сравнению с работой без ПУТ, периферийной зоны печи. А для достижения экономичности плавки степень развития центрального газового потока должна обеспечивать возможность регулирования размерами осевой коксовой отдушины «без риска потери центра». Важно, что при использовании ПУТ с большим количеством шлака на выпуске

продуктов плавки (398 кг/т чугуна на ДП-5 и 393 кг/т чугуна на ДП-3) необходимо использовать специальные режимы формирования порций шихты, препятствующие попаданию частиц не полностью сгоревшего топлива в первичные и промежуточные расплавы, что увеличивает вероятность загромождения горна неплавкими массами.

Поэтому при регулировании распределения газового потока по радиусу печи при вдувании в горн ПУТ для достижения оптимальных ТЭП плавки в характерных для ЕМЗ условиях работы распределением шихтовых материалов по сечению колошника необходимо:

обеспечить устойчивое центральное газораспределение с узкой осевой коксовой отдушиной, повышенную концентрацию низкоосновного сырья в зоне локализации частиц ПУТ, развитие взаимного перетока газов между периферией и центром;

исключить локализацию отдельных видов железорудного сырья по сечению колошника доменной печи; сформировать состав железорудных материалов в пристеночной зоне, обеспечивающий самообновление гарнисажа в нижней части шахты доменной печи; оптимизировать газопроницающую способность периферийной зоны, не допуская излишней подгрузки ее железорудными материалами, которая может приводить к верхним подвисяниям и неровному сходу шихты.

На основании изложенных положений управления распределением газового потока при использовании

Таблица 2. Качество кокса, используемого на ДП-5 и ДП-3 в период освоения технологии вдувания ПУТ

	ПУТ, кг/т чугуна	W	Зола	S	M ₂₅	M ₁₀	> 80	0 – 25	CSR	CRI
ДП-5	110	3,47	10,96	0,90	88,04	7,33	9,36	3,15	49,2	33,5
ДП-3	126	3,60	10,80	0,92	87,87	7,41	8,75	3,12	49,5	33,3
Эксплуатационные требования		≤ 0,5	< 12	< 0,6 %	≥ 87,0	≤ 6,0	≤ 5,0	≤ 3,5	> 60	< 30

ПУТ авторами данной статьи разработаны и предложены для реализации: программа загрузки, разработанная с использованием модельной системы [6], и режим формирования порций ДП-3 (рис. 2). Необходимость изменения программы загрузки была обусловлена формированием в период освоения ПУТ газонапряженной промежуточной зоны в печи (зоны повышенных рудных нагрузок), которая способствовала развитию чрезмерного периферийного газового потока, затрудненному переходу газов от периферии к центру и в обратном направлении, а также формированием в печи излишне раскрытой осевой зоны. Данные особенности распределения газового потока выявили при анализе информации установленных на печи термозондов [7]. В начале освоения ПУТ также значительно увеличились температуры футеровки на уровне середины шахты и тепловые нагрузки системы охлаждения в этой зоне.

Реализация предложенных изменений программы загрузки и режима формирования порций позволила при работе ДП-3 без футеровки на начальном этапе освоения ПУТ снизить температуры периферийного газового потока по всей высоте печи в среднем на 13 % — от 432 до 377 °С и уменьшить окружающую неравномерность температур на 11 % (рис. 3).

На ДП-5, оборудованной конусным загрузочным устройством, основные системы загрузки — КРРК↓ и РРКК↓ при переменной частоте использования их в цикле подач. Анализ изменения температур периферийной зоны ДП-5 за первые пять месяцев 2016 г. показал, что при увеличении прямых подач на высоких уровнях засыпи образуются зоны повышенных температур, сопровождающиеся оползанием гарнисажа, преимущественно в секторе чугунной летки № 1. Исходя из обнаруженных периодических нарушений газораспределения в сухой зоне по окружности ДП-5, а также из необходимости создания умеренно развитого периферийного газового потока при использовании технологии вдувания ПУТ в неудовлетворительных шихтовых условиях необходимо было подобрать рациональные системы загрузки, в том числе в зависимости от уровня засыпи шихты.

Для выявления особенностей распределения рудных нагрузок по радиусу ДП-5 был выполнен расчет распределения материалов в зависимости от системы загрузки и уровня засыпи (рис. 4 и 5). Полученные расчеты свидетельствуют, что при уровнях засыпи ± 0,5 м от уровня 1,8 м (точка встречи материалов при выгрузке с большого конуса со стенкой плит колошниковой защиты) рудный гребень приближается к стенке печи, при этом система загрузки РРКК↓ обеспечивает его максимум в этой зоне. Следовательно,

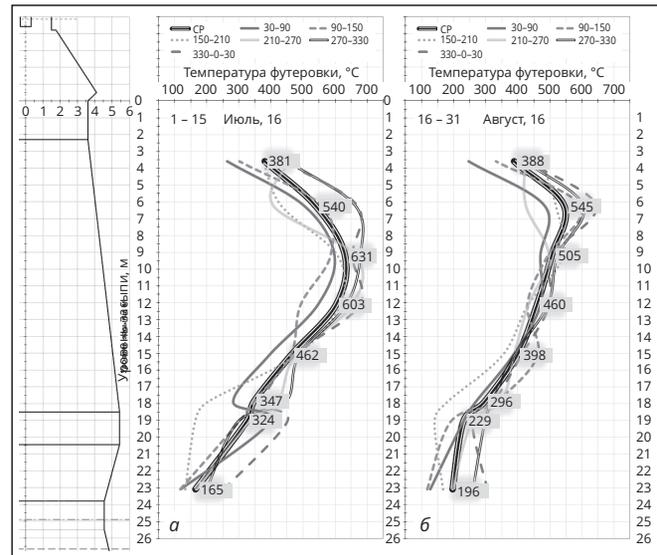


Рис. 3. Температуры термопар футеровки шахты, распара и заплечиков ДП-3 до (а) и после (б) реализации рекомендаций по загрузке

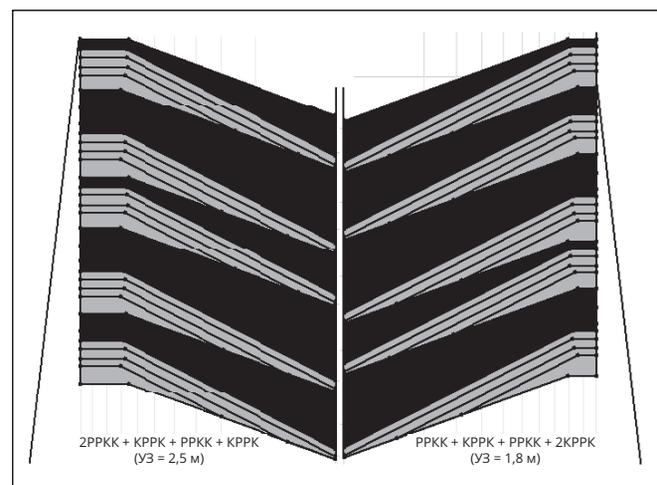


Рис. 4. Структуры слоев шихтовых материалов для рекомендуемых систем загрузки ДП-5

для предотвращения чрезмерной подгрузки периферийной зоны рудными материалами для уровней засыпи $1,8 \pm 0,5$ м и $2,5 \pm 0,5$ м было рекомендовано соответственно использовать системы загрузки РРКК↓ + КРРК↓ + РРКК↓ + 2КРРК↓ и 2РРКК↓ + КРРК↓ + РРКК↓ + КРРК↓.

Т. е. при пониженных уровнях засыпи необходимо использовать в цикле загрузки большее количество прямых подач, а при высоких уровнях засыпи — большее количество подач КРРК↓. При этом комбинированная загрузка таких циклов подач обеспечивает в печи смешение гребней материалов в промежуточ-

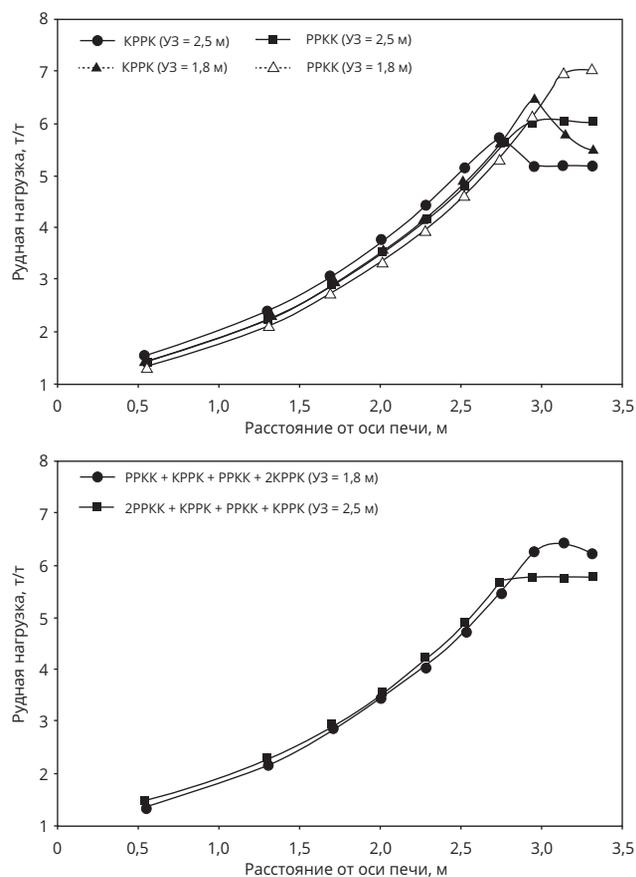


Рис. 5. Распределение рудных нагрузок по радиусу ДП-5 при разных системах загрузки для уровней засыпи 1,8 и 2,5 м

но-периферийной зоне, что создает предпосылки для газораспределения, обеспечивающего ровный сход материалов в существующих шихтовых и дутьевых условиях. При этом предложенная система загрузки может быть использована вне зависимости от степени развития центрального газораспределения.

Перед началом освоения технологии вдувания ПУТ с момента последнего шоткретирования шахты на ДП-5 прошло 27, на ДП-3 — 22 месяца. Визуальный осмотр состояния шахт доменных печей после выдувки на шоткретирование показал практически полное отсутствие футеровки, что для условий ДП-3 позволило заключить: термопары шахты регистрировали в период освоения ПУТ температуру периферийного газового потока. На ДП-5 термопары футеровки шахты были восстановлены в период шоткретирования (ноябрь 2016 г.), при переходе на технологию вдувания ПУТ температуры периферийной зоны печи оценивали по показаниям термопар тела холодильников. Анализ температур тела холодильников шахты ДП-5 и температур футеровки шахты ДП-3 в период освоения ПУТ показал следующее.

На ДП-5 при изменении теплогазодинамических режимов ее работы наибольшие изменения (колебания) претерпевали температуры холодильников на расстояниях 9,04 и 12,10 м от уровня воздушных фурм, при этом температура на уровне заплечиков изменялась от ~ 50 до ~ 95 °С. Быстрый рост и малое изме-

нение температур по окружности в зоне заплечиков свидетельствовали об относительно небольшом перетоке горнового газа вблизи холодильных плит заплечиков и надежной опоре столба шихтовых материалов на них, однако при резком изменении температурных условий происходили оползания, провоцируемые сходом нестабильного гарнисажа из зоны распара — низа шахты, их степень защищенности при этом оставалась на удовлетворительном уровне.

В середине шахты и в верхней части ДП-5 колебания температур значительно уменьшались и в верхней части печи составляли 150 – 200 °С по окружности и до ± 50 °С в каждой точке измерения во времени. На этих горизонтах, как и на нижних, наблюдалась характерная неравномерность изменения температур по окружности печи. Менее разогретые сектора ДП-5 были отмечены со стороны шихтоподачи, при этом более разогретый сектор располагался вблизи второй чугунной летки, что подтвердил неравномерный, близкий к канальному ход печи в этой зоне по температурам газов в газоотводах.

В переходных режимах при увеличении доли кислорода в дутье и его температуры с интенсификацией вдувания ПУТ и соответствующем уменьшении протяженности фурменных очагов наблюдалось опускание зоны нестабильности температур тела холодильников к уровню заплечиков с относительно быстрым разогревом температур (длительностью ~ 3 – 7 сут.), затем отмечалось поступательное их снижение до допустимого уровня (~ 7 – 14 сут.). При шоткретировании шахты в конце октября – начале ноября 2016 г. на ДП-5 помимо восстановления термопар футеровки шахты полностью заменили две холодильные плиты, на 12 холодильниках заменили сгоревшие трубки.

На ДП-3 по высоте и окружности печи на глубину 100 мм установлены термопары футеровки шахты [8]. Термопары установлены на шести горизонтах шахты, а также в распаре, заплечиках и в подфурменной зоне. По окружности печи термопары установили следующим образом: на уровне заплечиков, распара и трех нижних горизонтах шахты — по восемь термопар, на двух более высоких горизонтах — по шесть термопар и на верхнем горизонте — четыре термопары [8].

Анализ изменения температур футеровки (периферийного газового потока) на ДП-3 при освоении технологии вдувания ПУТ показал следующее. При вдувании высоких расходов ПУТ (15 – 18 т/ч) температуры середины шахты на двух уровнях установки термопар увеличились в среднем от 215 до 550 °С. Температуры термопар футеровки первого ряда низа шахты характеризовались небольшим изменением в начале 2016 г., после чего при переходе на ПУТ на этом горизонте отмечен нестабильный характер изменения температуры. На втором ряде низа шахты — противоположная картина, характеризующаяся стабилизацией температур и среднеквадратического их отклонения по окружности с началом вдувания ПУТ. Такая особенность изменения температур в нижней части шахты печи могла свидетельствовать об изменении по-

ложения корня зоны вязкопластичного состояния при переходе от режима работы ДП на «безгазовой шихте» с увлажненным дутьем в начале 2016 г. на технологию с использованием природного газа и затем ПУТ, при этом в условиях вдувания больших расходов ПУТ все температуры низа шахты на двух уровнях увеличились в среднем от 215 до 390 °С.

На уровне распара при увеличении расхода ПУТ температуры термопар футеровки увеличились в среднем в 1,8 раза (до 310 °С) по сравнению с началом 2016 г. Температура термопар футеровки на уровне заплечиков изменялась стабильно, что свидетельствовало об устойчивом гарнисаже на заплечиках и подтвердилось затем при визуальном осмотре шахты после выдувки. По абсолютной величине температуры на уровне заплечиков увеличились незначительно — от 125 до 175 °С.

Таким образом, было установлено, что на уровнях середины, низа шахты и распара в переходных дутьевых и топливных режимах работы ДП-3, в том числе с началом вдувания ПУТ, наблюдались существенные изменения как абсолютных температур футеровки, так и их среднеквадратических отклонений по окружности печи. Это явилось следствием как изменения положения корня зоны вязкопластического состояния, так и износа футеровки шахты, учитывая, что на момент вдувания больших расходов ПУТ кампания шахты печи составляла уже два года, это обуславливало необходимость очередного шоткретирования. Использование в технологии плавки рациональных режимов загрузки при вдувании ПУТ позволило на ДП-3 без футеровки шахты обеспечить эксплуатационную стойкость системы охлаждения и безаварийную работу доменной печи. После шоткретирования шахты ДП-3 в сентябре 2016 г. распределение температур футеровки от уровня заплечиков до верхнего горизонта шахты выровнялось, температуры изменялись от 100 до 200 °С до января 2017 г. включительно.

В АСУ ДП-3 регистрируется показатель суммарных тепловых нагрузок системы охлаждения как в целом по печи, так и в отдельных зонах. Анализ изменения данного показателя в 2016 г. выявил, что на начальном этапе освоения ПУТ среднесуточные его значения достигали в отдельные сутки 10 МВт. При достижении расходов ПУТ в отдельные сутки 130 – 140 кг/т чугуна тепловые нагрузки увеличивались, достигнув максимального значения за весь период — 19,2 МВт. В октябре 2016 г. при выходе ДП-3 на плановые показатели по суточной производительности печи после ремонта суммарные тепловые потери, составившие 6 – 9 МВт, достигли уровня начала 2016 г., когда в технологии плавки ПУТ не использовали. Отметим, что на показатель суммарных тепловых нагрузок системы охлаждения влияют в основном тепловые нагрузки средней зоны, что согласуется с анализом температур футеровки шахты, из которого следует, что наиболее теплонапряженной зоной по высоте ДП-3 в период освоения ПУТ явилась середина шахты вследствие увеличенного расстояния от оси воздушных фурм до перегиба

профиля (низа заплечиков) ДП-3 (см. рис. 1) и характерных для доменного цеха ЕМЗ рациональных конструктивных решений воздушных фурм.

При увеличении в несколько раз показателя суммарных тепловых нагрузок системы охлаждения с одновременным контролем температур футеровки можно судить об износе футеровки шахты, распара и заплечиков и планировать технологические и капитальные меры по предотвращению выхода из строя холодильных плит термонапряженной зоны. Значительное увеличение данного показателя может объяснить высокий расход условного топлива, который будет компенсироваться на покрытие тепловых потерь.

Анализ состояния металлоприемников ДП в период освоения ПУТ показал следующее. С момента начала вдувания ПУТ на ДП-5 температура центральной части лещади незначительно повысилась, но не превысила максимальных значений, наблюдаемых на печи ранее, что свидетельствует об отсутствии износа футеровки. Диапазон колебания температуры футеровки свидетельствовал о стабильном рациональном слое гарнисажа в лещади. Тепловые нагрузки в наиболее теплонапряженном секторе лещади под чугунными летками остались на уровне до вдувания ПУТ (~ 2 кВт/м²). После начала вдувания ПУТ на ДП-5 температура футеровки периферийной части горна и лещади на отметках с третьего по восьмой уровень установки термопар осталась близкой к прежней. Следовательно, остаточная толщина футеровки не изменилась, износ футеровки в среднем не превысил 20 %. После начала вдувания ПУТ провели ряд контрольных замеров тепловых нагрузок на систему охлаждения горна и лещади. Как показали замеры, тепловые нагрузки на холодильники металлоприемника не превысили зафиксированных в течение кампании печи с 2007 г. максимальных значений. Ввиду недостаточного автоматизированного контроля и отмеченной тенденции роста тепловых нагрузок на холодильники системы охлаждения горна рекомендовано на ДП-5 проводить регулярные контрольные замеры тепловых нагрузок на холодильники чугунных леток, нижнего и верхнего горнов.

Футеровка металлоприемника ДП-3 выполнена из разных огнеупорных материалов фирм GrafTech International (США) и NDK (Япония). Рабочая поверхность металлоприемника защищена керамическим стеклом производства фирмы Saint Gobain International (Франция). С момента начала вдувания ПУТ на ДП-3 тепловая нагрузка на центральную часть лещади осталась на прежнем уровне — в среднем ~ 1,5 кВт/м². Износ футеровки центральной части лещади отсутствовал, поверхность лещади прикрыта слоем гарнисажа. Основная часть тепловых нагрузок на холодильники периферийного охлаждения за пять лет эксплуатации ДП-3 была стабильна и не превышала 20 кВт (в связке на холодильник верхней и нижней лещади) и 30 кВт (в связке на холодильник верхнего и нижнего горна). После начала вдувания ПУТ температура футеровки и тепловая нагрузка на холодильники (в том числе зоны

чугунных леток) осталась на прежнем уровне. Толщина футеровки периферийной части горна и лещади вне сектора чугунных леток осталась проектной и прикрыта слоем гарнисажа. В секторе чугунных леток зафиксирован допустимый износ керамического слоя — не более 25 %, вызванный эрозийным воздействием потоков металла и шлака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, освоение технологии вдувания ПУТ в доменном цехе ЕМЗ в переменных шихтовых условиях и с работой на коксе пониженного качества при использовании рациональных режимов загрузки, формирования порций и выборе рационального шлакового режима позволили в 2016 г. довести расход ПУТ в среднем до 130 кг/т чугуна. Оперативный контроль состояния футеровки шахты доменных печей по показаниям термопар футеровки, тела холодильников и тепловых нагрузок системы охлаждения позволил своевременно проводить гарнисажеобразующие мероприятия и корректировать распределение компонентов шихтовых материалов по радиусу и окружности печи. Реализация предложенных изменений программы загрузки и режима формирования порций позволила при работе ДП-3 без футеровки на начальном этапе освоения ПУТ снизить температуры периферийного газового потока по всей высоте печи в среднем на 13 % и уменьшить окружную неравномерность температур на 11 %. Использование в технологии рациональных режимов загрузки при вдувании ПУТ позволило до шоткретирования обеспечить эксплуатационную стойкость системы охлаждения и безаварийную работу доменных печей. Начальный этап вдувания ПУТ в доменном цехе ЕМЗ не повлиял на тепловые нагрузки металлоприемников доменных пе-

чей. Анализ состояния горна и лещади ДП-3 показал эффективность проектного решения по использованию керамического стакана, износ которого за пять лет эксплуатации печи составил 25 % в зонах секторов чугунных леток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Podkorytov A. L., Kuznetsov A. M., Dymchenko E. N. et al. Technology for preparing coke for blast smelting and its efficiency // Metallurgist. 2009. July. Vol. 53. Issue 7 – 8. P. 460 – 468.
2. Подкорытов А. Л., Кузнецов А. М., Падалка В. П. и др. Опыт освоения и оптимизации технологии на доменной печи № 5 Енакиевского металлургического завода // Черметинформация. Бюл. «Черная металлургия». 2008. № 11. С. 59 – 71.
3. Кузнецов А. М., Падалка В. П., Зубенко А. В. Пути совершенствования технологии доменной плавки // Сталь. 2007. № 11. С. 6 – 7.
4. Большаков В. И. Применение в Украине технологии доменной плавки с вдуванием пылеугольного топлива // Сб. науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». 2011. Вып. 23. С. 30 – 36.
5. <http://uaprom.info/news/152518-ustanovku-put-enakievskom-met-zavode-zapustili-skajpu-glava-metinvesta.html>.
6. Semenov Yu. S., Shumelchik E. I., Vishnyakov V. I. et al. Model system for selecting and correcting charging programs for blast furnaces equipped with a bell-less charging apparatus // Metallurgist. 2013. January. Vol. 56. Issue 9 – 10. P. 652 – 657.
7. Большаков В. И., Семенов Ю. С., Шумельчик Е. И. и др. Использование информации о температуре над поверхностью засыпи шихты для контроля доменной плавки // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2015. № 3. С. 2 – 7.
8. Semenov Yu. S., Mozharensko N. M., Horupakha V. V. et al. Effect of the Fuel, Raw Materials, and Process Condition on the Behavior of Temperature Change in a Blast-Furnace Lining // Metallurgist. 2015. July. Vol. 59. Issue 3. P. 290 – 299.