

В. И. Большаков, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь, А. А. Сохацкий

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины,
Днепропетровск

Опыт и перспективы применения пылеугольного топлива на доменных печах Украины

Приведены результаты работы доменной печи, оборудованной бесконусным загрузочным устройством при освоении технологии плавки с применением пылеугольного топлива (ПУТ). Показана важность реализации на печи согласованного комплекса мероприятий по формированию рационального распределения шихты и обоснованному выбору тепло-газодинамического режима плавки для эффективного освоения ПУТ.

Ключевые слова: доменная печь, пылеугольное топливо, бесконусное загрузочное устройство, тепловые потери, теплоэнергетический метод

Важнейшим перспективным направлением развития и совершенствования отечественного доменного производства является строительство доменных печей (ДП) большого объема порядка 5000 м³, оснащение их бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), современными установками для вдувания пылеугольного топлива (ПУТ), системами охлаждения и средствами контроля процесса плавки. Это направление реализовывалось ИЧМ на ДП № 9 ПАО «АМКР», ДП № 1 Алчевского металлургического комбината (АМК), ДП № 5 Северстали и ДП № 6 Новолипецкого металлургического комбината и др. [1-4].

Для успешного освоения технологии доменной плавки с применением ПУТ на металлургических предприятиях Украины, кроме улучшения шихтовых условий, необходимо разрабатывать рациональные приемы управления тепловой работой ДП на основании управления распределением шихты, выбора параметров и состава дутья с учетом технического состояния печи и требований к производству чугуна [3, 4].

Отечественный опыт освоения технологии применения ПУТ на доменной печи объемом 3000 м³, оснащенной БЗУ, накоплен на ДП № 1 ПАО «АМК». В 2009 г. на ПАО «АМК» была введена в эксплуатацию установка фирмы «Küttner» по вдуванию ПУТ в горн доменной печи, которая позволяет частично обогащать дутье кислородом по технологии «окси-коул» через коаксиальные сопла с расходом до 170 м³/мин и давлением около 0,12 МПа. Физические и химические свойства углей, вдуваемых в печь, должны удовлетворять требованиям, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к физическим и химическим свойствам углей

Содержание влаги, %	≤ 12
Индекс Хардгрова, ° HGI	≥ 50
Содержание золы, %	≤ 13
Летучие вещества, %	14-38
Содержание хлоридов, %	≤ 0,2
Гранулометрический состав, мм (не более)	≤ 80

На полученных результатах предпусковых исследований ИЧМ НАНУ разработана и внедрена на ДП № 1 ПАО «АМК» рациональная программа загрузки [3]. При разработке этой программы реализованы технологические принципы рационального режима загрузки, которые основаны на рациональной настройке оборудования БЗУ (рабочие углы наклона лоткового распределителя, расходная характеристика нижних шихтовых затворов промежуточных бункеров устройства), эффективном использовании полезного объема бункеров БЗУ и периодической смене расположения вида материалов в них, обоснованной загрузке определенного количества кокса в приосевые кольцевые зоны колошника. Внедрение программы загрузки ИЧМ обеспечило формирование рационального распределения шихтовых материалов по радиусу и окружности колошника ДП № 1 и увеличение пропускной способности системы загрузки.

Внедрение комплекса научно обоснованных мероприятий, разработанных ИЧМ и включающих эффективное использование существующих возможностей по нагреву дутья, расходу технологического кислорода, ПУТ и природного газа, а также мощностей оборудования внедоменного обессеривания чугуна, при формировании рационального распределения шихтовых материалов и газового потока, позволили вывести ДП № 1 ПАО «АМК» в 2011 г. на режим работы, который соответствует тенденциям получения эффекта от внедрения технологии вдувания ПУТ в зарубежной практике и достигнуть лучших технико-экономических показателей работы печей с ПУТ в Украине (рис. 1) [3, 4].

Успешному освоению расхода ПУТ (140 кг на тонну чугуна и более) при ограниченных возможностях воздуходувных машин и воздухонагревателей, неудовлетворительном качестве сырья, способствовали применение в небольших количествах природного газа и увеличение концентрации кислорода в дутье для создания благоприятных условий восстановительной и тепловой работы печи, обеспечения ровности ее хода.

Экономически оправданными, способствующими увеличению расхода ПУТ и производства чугуна,

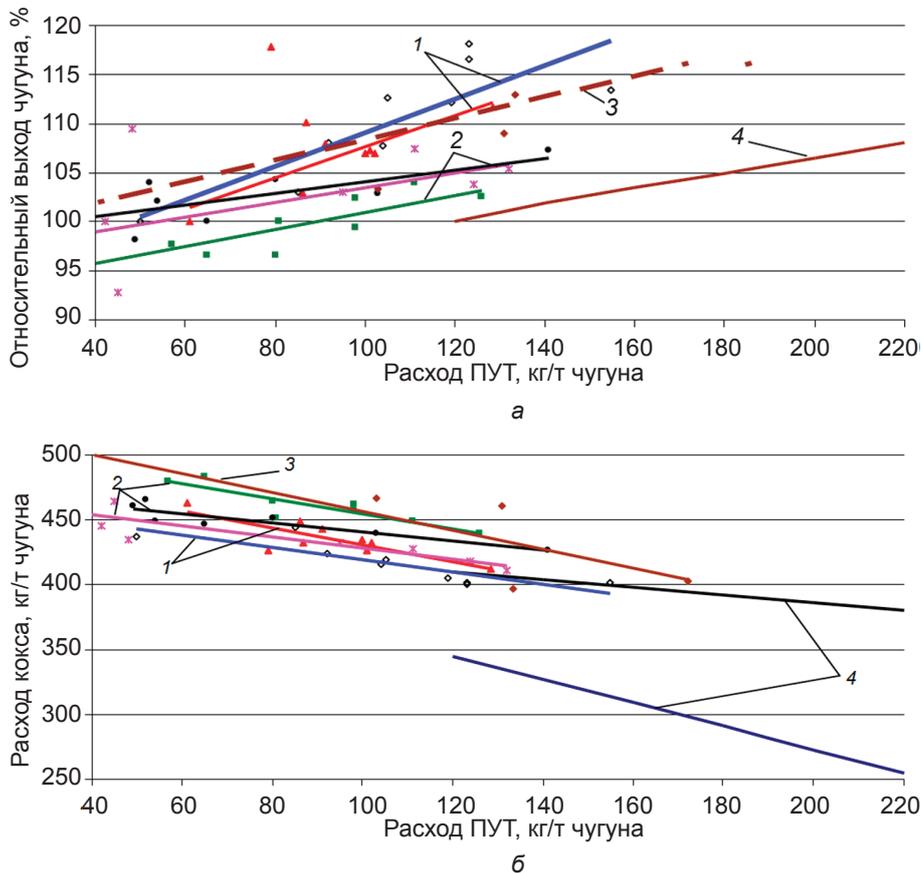


Рис. 1. Сопоставление основных технико-экономических показателей (относительный выход чугуна, % (а), расход кокса, кг/т чугуна (б)) доменных печей Украины (1-3) и зарубежья (4), работающих с ПУТ: 1 – ПАО «АМК» 2011 г. (◇ – ДП № 1, ▲ – ДП № 5); 2 – ОАО «Запорожсталь» 2011 г. (■ – ДП № 2, * – ДП № 3, ● – ДП № 5); 3 – ПрАО «Донецксталь» – металлургический завод» 2002-2009 г. (◆ – ДП № 2); 4 – зарубежная практика PAUL WURTH

уменьшению расхода кокса и природного газа, являлись мероприятия, направленные на улучшение качества кокса и железорудного сырья.

Анализ влияния ПУТ и природного газа на показатели тепловой работы печи выполнялся на основании теплоэнергетических балансовых расчетов доменной плавки по модели И. Д. Семикина (рис. 2) [2, 5].

Прирост производства чугуна достигался за счет развития процесса прямого восстановления желе-

за углеродом, увеличения степени прямого восстановления железа с 31 до 40 %, общей тепловой мощности печи с 640 до 760 МВт, расхода дутья с 4620 до 4870 м³/мин и содержания кислорода в нем 26,4÷28,2% (рис. 2). Количество чугуна, полученного от восстановления железа косвенным путем, оставалось практически неизменным и составляло порядка 150 т чугуна в час. Экономия кокса достигалась за счет замены углерода кокса на фурмах пылеугольным топливом как теплоносителем. Степень использования СО изменялась в пределах от 43 до 46 % и, главным образом, зависела от концентрации кислорода в дутье [3, 4]. Степень прямого восстановления железа увеличивалась по мере увеличения расхода ПУТ (рис. 2).

Изменения в тепловой и восстановительной работе ДП № 1 ПАО «АМК» при переходе на технологию вдувания ПУТ отрицательно сказались на ресурсе работы ее ограждения: начали выходить из строя холодильники заплечиков, участились случаи прогара холодильников низа шахты и фурменных приборов, усилился разгар футеровки горна. Это было связано с увеличением тепловых нагрузок на систему охлаждения печи и окружающей неравномерности их распределения, увеличением прихода закиси железа в зону расплава и объема производства чугуна (рис. 3, 4).

Износ шахты и горна усилился после полного отключения природного газа в 2012 году, несмотря на уменьшение концентрации кислорода в дутье и интенсивности периферийного потока газов, усиление осевого распределения газового потока,

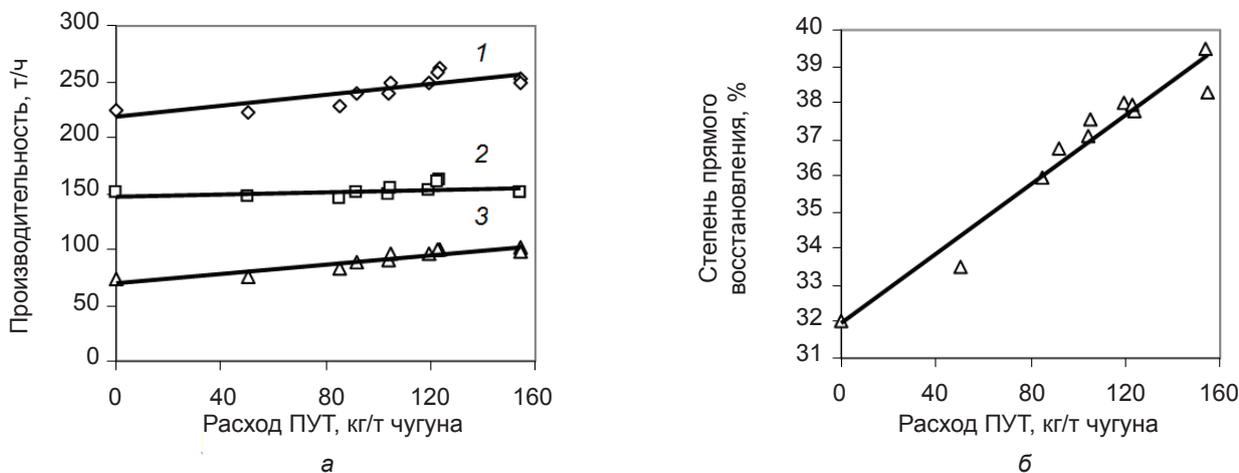


Рис. 2. Влияние ПУТ на показатели тепловой работы ДП № 1 ПАО «АМК» (производительность (а) и степень прямого восстановления (б)) по усредненным данным ее работы за март 2011 – январь 2012: 1 – общее количество чугуна; 2 – количество чугуна, полученного от восстановления железа водородом и оксидом углерода; 3 – количество чугуна, полученного из железа, восстановленного твердым углеродом и оксидом углерода, выделяющимся при прямом восстановлении железа

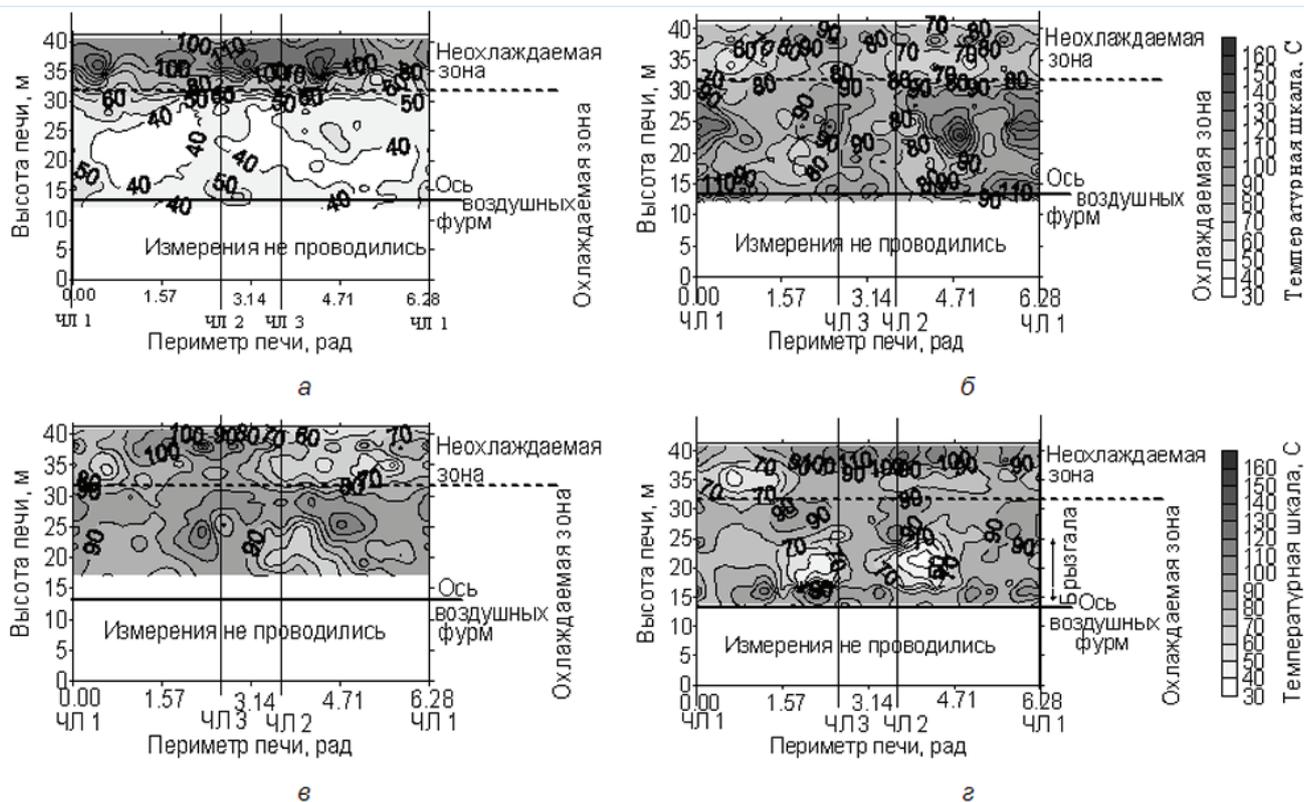


Рис. 3. Термограммы по данным инструментальных замеров в период работы ДП №1 ПАО «АМК» с ПУТ и природным газом: а – после выдувки печи (сентябрь 2010 г.), б – работа без ПУТ (производство 5900 т/сут.), в – работа с расходом ПУТ 70 кг/т чугуна (производство 6100 т/сут.), з – работа с расходом ПУТ 130 кг/т чугуна (производство 6250 т/сут.) после заправки под кожу огнеупорной массы

обеспеченное посредством управления режимом загрузки шихты [3, 4].

При увеличении расхода ПУТ и уменьшении расхода природного газа усиливалась окружающая неравномерность и величина температурно-тепловых нагрузок в направлении горна печи, особенно на заплечики (рис. 3). Изменение распределения температурно-тепловых нагрузок по высоте и периметру печи отслеживались термографическим методом, на основании инструментальных измерений температуры кожуха печи и обработки их по специальной методике (рис. 3) [2, 6].

По результатам инструментальных замеров тепловых потерь в системе охлаждения ДП № 1 установлено, что средняя величина внешних тепловых потерь при работе с природным газом составляла 14 МВт (6 замеров), при работе с ПУТ и природным газом – 20 МВт (6 замеров), только с ПУТ – 26 МВт (один замер) (рис. 4). Расчетная величина расхода кокса на покрытие внешних тепловых потерь изменялась от 16 до 37 кг/т чугуна (рис. 4).

При переходе на технологию работы ДП № 1 с ПУТ наиболее существенно, почти в два раза увеличились тепловые потери в системе охлаждения горна и заплечиков, удельные тепловые потери и расход кокса на покрытие тепловых потерь при этом уменьшились (рис. 4).

В нестабильных условиях работы печи и при невысоком качестве сырья совместное вдувание с ПУТ в горн небольшого количества природного газа порядка 30 м³/т чугуна, через все воздушные фурмы, способствовало уменьшению тепловых нагрузок на горн и низ шахты печи, более устойчивой газодина-

мической работе системы «ТВД-доменная печь» и уменьшало окружающую неравномерность тепловой работы печи (рис. 2-4) [2-4].

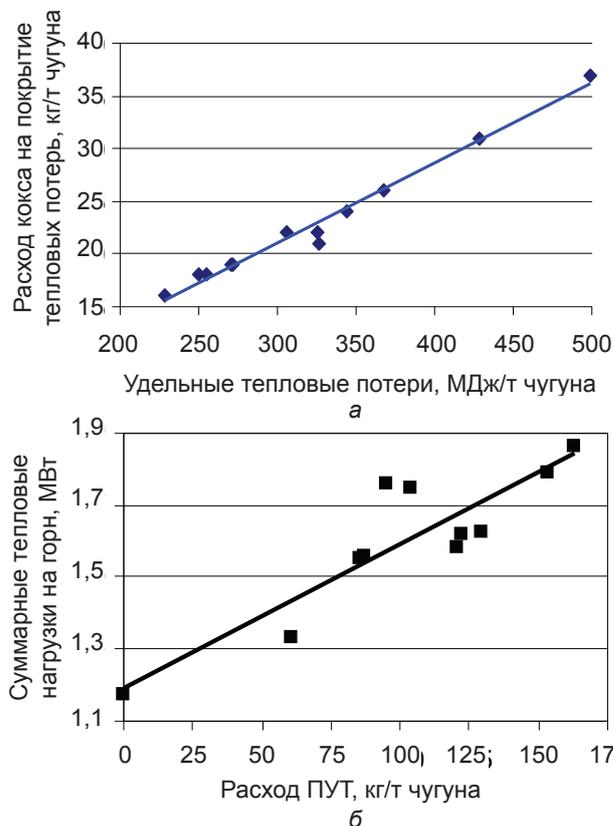


Рис. 4. Тепловые потери печи и расход кокса на их покрытие (а), суммарные тепловые нагрузки на горн (б)

Увеличение тепловых нагрузок на заплечики и горн, усиление окружной неравномерности их распределения указывают на необходимость пересмотра технических решений, принимаемых при разработке конструкции, системы охлаждения, холодильников и профиля печей, переходящих на технологию работы с ПУТ (например, для печей, работающих с использованием до 100 % окатышей или выплавляющих специальные марки чугуна). Актуальным является автоматизированный контроль внешних тепловых потерь в системе охлаждения печи и изготовление качественных холодильников, стойких к термомеханическим напряжениям и истиранию [2, 6].

Целесообразность применения медных холодильников для продления кампании печи неоднозначна, так как при этом увеличивается расход кокса на покрытие внешних тепловых потерь. Например, по данным исследований ИЧМ НАНУ на ДП «Россианка» ОАО «НЛМК», объемом 4291 м³, из-за применения медных холодильников и охлаждения чугунными холодильниками шахты до колошника расход кокса на покрытие тепловых потерь в системе охлаждения этой печи больше на 5-10 кг/т чугуна, чем на ДП № 6 ОАО «НЛМК» объемом 3200 м³, охлаждаемой плитовыми чугунными холодильниками до середины шахты. Опыт эксплуатации доменных печей Японии с ПУТ, показал, что за счет применения качественно изготовленной цельной конструкции холодильника из чугуна с шаровидным графитом и огнеупора, залитого в тело холодильника, можно добиться продления кампании печи до 15-25 лет без применения медных холодильников и футеровки охлаждаемой части шахты [7].

Результаты выполненных исследований показали, что увеличение содержания летучих в ПУТ, при прочих равных условиях, уменьшает производство чугуна (рис. 5), но, с другой стороны, уменьшает степень прямого восстановления железа, количество первичного шлака и соответственно содержания в нем монооксида железа. Поэтому увеличение доли летучих в составе ПУТ позволит в некоторой степени компенсировать вывод природного газа из состава дутья, будет способствовать увеличению ровности хода печи, уменьшению интенсивности износа шахты и горна, можно также ожидать увеличения полноты сжигания ПУТ [2, 5].

Технология плавки с вдуванием топливных добавок приводит к увеличению рудной нагрузки и уменьшению газопроницаемости столба шихты, что требует соответствующей корректировки распределения шихтовых материалов по радиусу печи. Современный опыт регулирования распределения шихты в ДП при использовании ПУТ сводится к необходимости формирования в печи интенсивного осевого газового потока [3]. В соответствии с исследованиями ИЧМ НАНУ рациональная степень развития осевого хода должна определяться комплексом существующих условий на конкретной ДП (величиной рабочего объема, качеством шихтовых материалов, заданным уровнем производительности, наличием топливных добавок и их составом, общим состоянием печи и газодутьевыми параметрами) [1]. Формирование

осевого газового потока посредством корректировки параметров режима загрузки необходимо рассматривать в целом как формирование рационального распределения газового потока и шихтовых материалов по сечению печи.

Изложенное позволяет сформулировать задачи, требующие решения учеными и специалистами-доменщиками. Проведение опытно-экспериментальной проверки способов и приемов вдувания ПУТ для выбора рациональных режимов дутья, распределения шихтовых материалов и газового потока по сечению печи, обеспечения полного сгорания частиц пыли.

Для эффективного и обоснованного решения главной задачи – уменьшения расхода кокса и природного газа при обеспечении стабильной и высокопроизводительной работы доменных печей – необходимо активизировать новые разработки и обеспечить их реализацию на доменных печах Украины. С этой целью необходимо выполнить следующие исследования и разработки, опирающиеся на имеющиеся в ИЧМ научные знания и опыт их реализации на ДП различного объема, оснащенных современным оборудованием и новыми средствами автоматизированного контроля параметров плавки и распределения шихты и газов [1-4, 6, 8-9]:

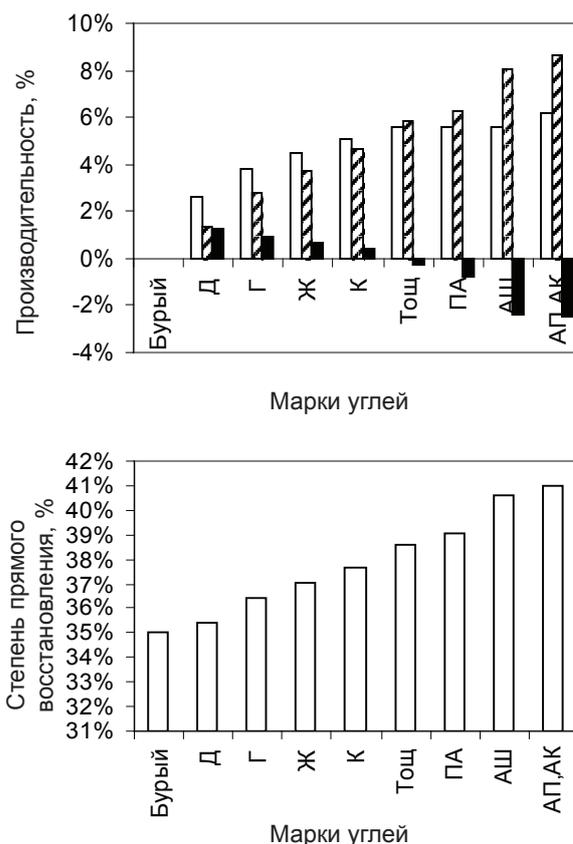


Рис. 5. Влияние марок вдуваемых углей на изменение производительности и степени прямого восстановления по данным работы ДП № 1 ПАО «АМК» в октябре 2011: □ – общее количество чугуна; ▨ – количество чугуна, полученное от восстановления твердым углеродом и оксидом углерода, выделившимся при прямом восстановлении; ■ – количество чугуна, полученное от восстановления водородом и оксидом углерода

– изучить особенности формирования распределения шихты и газового потока при использовании различных загрузочных устройств, выполнить разработку эффективных режимов загрузки;

– определить эффективность различных типов конструкций шахты и металлоприемника доменных печей, систем охлаждения, типов загрузочных устройств и режимов их работы при освоении технологии плавки с ПУТ;

– выбрать рациональный состав и объем средств контроля и управления, необходимых для обеспечения стабильного и эффективного процесса плавки с применением ПУТ;

– оценить влияние химического состава ПУТ, его нагрева, способов его подачи и сжигания в горне с энергоносителями различной природы, кислородом, флюсами, пылевидными окислами железа и паром на показатели тепловой, восстановительной и газодинамической работы печи;

– усовершенствовать методы контроля и организации управления радиальным и окружным распределением шихтовых материалов на колошнике при различной степени замены кокса ПУТ и другими топливными добавками к дутью;

– определить влияние параметров технологии работы доменных печей с ПУТ и распределения газового потока на вынос колошниковой пыли, выход, температуру и калорийность доменного газа;

– оценить необходимость и особенности управления газовым потоком, в том числе интенсивностью движения газов в осевой и периферийной зонах печи;

– выполнить сравнительный анализ особенностей работы доменных печей различного объема с вдуванием ПУТ, оснащенных бесконусными и конусными загрузочными устройствами, при близких шихтовых условиях и различной интенсивности вдувания ПУТ;

– разработать методы расчета и определения критериев оценки, характеризующих высокоэффективную работу доменной печи с вдуванием в горн ПУТ с учетом энерготехнологических связей доменного производства с другими переделами и энергетическим балансом металлургического комбината;

– для успешного и эффективного применения технологии доменной плавки с использованием ПУТ в Украине необходимо ускорить замену ДП малого и среднего объема печами большого объема, оснащенными БЗУ;

– разработать технологические требования и рекомендации, направленные на увеличение эффек-

тивности технологии доменной плавки в Украине с вдуванием пылеугольного топлива.

Выводы

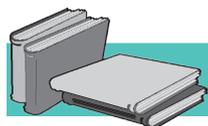
Рациональное управление режимом сжигания топлива в фурменной зоне и распределением шихтовых материалов на колошнике с применением БЗУ позволяет достичь мировых стандартов работы ДП большого объема с использованием углей, добываемых в Украине для приготовления ПУТ.

Экономия кокса на ДП № 1 ПАО «АМК» достигалась за счет замены углерода кокса пылеугольным топливом как теплоносителя. Прирост производства чугуна достигался за счет развития процесса прямого восстановления железа углеродом с 31 до 41 % и увеличения концентрации кислорода в дутье.

Увеличение тепловых нагрузок на заплечики и горн, увеличение окружной неравномерности их распределения, преждевременный выход из строя холодильников шахты указывает на необходимость пересмотра технических решений при разработке конструкции, системы охлаждения, холодильников и профиля печей, переходящих на технологию работы с ПУТ, важность автоматизированного контроля внешних тепловых потерь.

В нестабильных условиях работы печи и при невысоком качестве сырья совместное вдувание с ПУТ небольшого количества природного газа (порядка 30 м³/т чугуна), а также увеличение содержания летучих в ПУТ способствуют уменьшению тепловых нагрузок на шахту и горн, окружной неравномерности их распределения, интенсивности износа футеровки и холодильников, увеличению ровности хода печи и более устойчивой газодинамической работе системы «ТВД-доменная печь».

Наиболее целесообразный путь уменьшения энергетических и других производственных затрат состоит в строительстве доменных печей большого объема, оснащении их БЗУ, оборудованием для вдувания ПУТ и современными средствами контроля процессов плавки. Выполнение учеными ИЧМ комплекса теоретических и прикладных исследований позволит обеспечить применение на отечественных металлургических заводах экономически эффективной технологии доменной плавки с использованием ПУТ и других энергоносителей.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Большаков В. И.* Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – К.: Наук. думка, 2007. – 412 с.
2. *Домна в энергетическом измерении / А. В. Бородулин, А. Д. Горбунов, В. И. Романенко, Г. И. Орел – Кривой Рог: СП «Мир», 2004. – 412 с.*
3. *Освоение работы доменной печи, полезным объемом 3000 м³, с применением пылеугольного топлива / В. И. Большаков, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 36-40.*
4. *Тепловая работа доменной печи, полезным объемом 3000 м³, при переходе на технологию применения пылеугольного топлива / В. И. Большаков, А. Л. Чайка, В. В. Лебедь, А. А. Сохацкий, Р. В. Авдеев // VI Международный Конгресс по агло-коксо-доменному производству «Проблемы доменного и смежных производств в современных условиях. Технологии использования разных видов топлива и сырья»: 20-24 мая 2013 г., г. Ялта. – С. 261-270.*

5. Топливо и топливное хозяйство металлургических заводов / И. Д. Семикин, С. И. Аверин, И. И. Радченко – М.: Металлургия, 1965. – 391 с.
6. Новые методы контроля технического состояния ограждения доменных печей без остановки технологического процесса / В. И. Большаков, С. П. Суцев, А. Л. Чайка, А. А. Суслонов, А. Б. Юрьев, С. Ф. Бугаев, Г. В. Панчева, А. В. Бородулин // ОАО «Черметинформация» Бюл. «Черная металлургия». – 2006. – № 6. – С. 27-38.
7. Огнеупоры в доменной печи и технологические меры в шахте для продления кампании печи // ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. – 2011. – № 5. – С. 11-15.
8. Технический уровень и научное сопровождение металлургической отрасли Украины / В. И. Большаков, Л. Г. Тубольцев, А. Ф. Гринев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 2. – С. 1-6.
9. Плискановский С. Т., Большаков В. И. Достижения и перспективы развития доменного производства / Металлургическая и горнорудная промышленность, 2011. – № 4. – С. 4-8.

Анотація

Большаков В. И., Чайка О. Л., Лебідь В. В., Сохацький О. А.

Досвід і перспективи застосування пиловугільного палива на доменних печах України

Наведено результати роботи доменної печі, обладнаної бесконусним завантажувальним пристроєм при освоєнні технології плавки із застосуванням пиловугільного палива (ПВП). Показано важливість реалізації на печі узгодженого комплексу заходів щодо формування раціонального розподілу шихти і обґрунтованого вибору тепло-газодинамічного режиму плавки для ефективного освоєння ПВП.

Ключові слова

доменна піч, пиловугільне паливо, бесконусний завантажувальний пристрій, теплові втрати, теплоенергетичний метод

Summary

Bolshakov V. I., Chayka A. L., Lebed' V. V., Sokhatsky A. A.

Experience and future applications for pulverized coal blast furnaces Ukraine

The results of the blast furnace equipped with bell-less top device during the development of smelting technology with the use of pulverized coal injection (PCI). The importance of the implementation on the stove coherent set of measures to promote the rational distribution of the charge and inform choice of thermal gas-dynamic melting mode for the efficient development of pulverized coal.

Keywords

blast furnace, pulverized coal, bell-less top, heat loss, heat power method

Поступила 02.10.13

ВНИМАНИЕ!

Изменился номер телефона

редакции научно-технических журналов

«Металл и литьё Украины» и «Процессы литья»

(044) 424-04-10