

С. Н. Каракай, В. Н. Ковшов*, В. А. Петренко*

ПАО «ЕВРАЗ – Днепропетровский металлургический завод им. Петровского», Днепропетровск

*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Состояние и перспективы внедрения ресурсосберегающих технологий в доменном производстве ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

Приведены используемые и перспективные пути экономии энергии и ресурсосбережения в доменном переделе.

Ключевые слова: экономия, энергия, ресурсы, расход кокса, доменное производство

Естественной производственной задачей, в условиях высокой конкуренции и рыночных взаимоотношений, является снижение потребления ресурсов. В 2013 году доменщики ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» успешно освоили технологию производства чугуна без применения природного газа. При этом для компенсации увеличения теоретической температуры горения была увеличена влажность дутья с 18 до 36 г/м³. Общеизвестно, что применение природного газа существенно увеличивает количество горновых газов [1, 2] и, тем самым, имеет значительное влияние на тепловое состояние фурменного очага, отнесённое к объёму газа.

В 2014 г. технологи доменного цеха провели практическое определение оптимальной теоретической температуры горения (далее – $T_{\text{теор}}$) для существующих условий плавки. Ранее её значение находилось в интервале 1950–2000 °С. При переходе на безгазовую технологию, значение $T_{\text{теор}}$ составило 2050–2150 °С. Результатом вышеуказанной работы стало снижение влажности дутья до 23–26 г/м³ при сохранении температуры горячего дутья на прежнем уровне (1050 °С), что позволило снизить удельный расход кокса на 1,7 %.

Для большинства металлургических предприятий Украины резервом в экономии кокса является выплавка чугуна с меньшим содержанием [Si]. Так доменщиками была освоена технология производства чугуна при снижении [Si] с 0,6±0,7 до 0,25±0,35 %, сохраняя при этом содержание [S] – не более 0,050 %. Основным условием реализации данной технологии является наличие своевременных и достоверных данных о качестве загружаемого в доменные печи сырья. Во многом полученный результат стал возможным из-за относительно низкого содержания серы в коксе (0,045±0,060 %), благодаря применению российских углей в коксовой шихте. Данное мероприятие позволило снизить удельный расход кокса на 4,0 %.

Наиболее значимым мероприятием по ресурсосбережению в 2014 году стало введение в промышленную эксплуатацию мобильного сортировочного комплекса для отсева фракции – 5 мм в агломерате ПАО «ЮГОК», загружаемом в ДП № 2. Рассев агломерата уменьшил содержание в нём мелочи с 18±20

до 6±8 %. Вышеуказанное мероприятие позволило сократить удельный расход кокса на 6,0 %, повысить производительность печи на 10,0 % и снизить удельный расход железа на ~ 1,0 %.

Эффективность, полученная от выполнения вышеперечисленных мероприятий адекватна (~90 %) её теоретической оценке [3, 4], что позволяет применять её при прогнозировании изменения технико-экономических показателей работы доменной печи.

Итогом, арифметической суммой, внедренных технологических мероприятий является экономия 11,7 % кокса. Однако качество сырьевых и топливных материалов для обеспечения доменного цеха не является постоянным в годовом интервале времени. Это связано с сознательным подбором угольной шихты для получения кокса оптимального качества для условий ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» и вынужденными изменениями в качестве используемого агломерата. Так, в 2014 году доменщики работали с коксом, характеризующимся следующими интервалами по его горячей прочности (CSR) и реакционной способности (CRI): CSR – 40,4±52,0 %; CRI – 30,1±40,3 %; CSR/CRI – 1,0±1,6. По вышеизложенным причинам интервал изменения удельного расхода кокса в течение года составил от 90 до 107 %. Данный результат указывает направление дальнейших мероприятий для развития ресурсосберегающих технологий.

Кроме перечисленных методов экономии кокса существуют перспективные способы, которые позволяют существенно снизить расход кокса и повысить производительность доменных печей.

Проанализировав затраты энергии на выплавку чугуна [5], можно заметить, что максимальные траты (58 %) производятся на восстановительные процессы (табл.). На втором месте, не считая унос тепла чугуном и шлаком, потери через стены и с охлаждающей водой, находится разложение карбонатов 3,5 %.

Уменьшение этих статей расхода должно принести существенное снижение расхода кокса. Таким образом, в настоящее время существует несколько путей экономии энергоресурсов при выплавке чугуна в доменных печах.

Затраты энергии на выплавку чугуна

Статьи расхода энергии	Примерные затраты энергии	
	ГДж	%
Диссоциация оксидов Fe, Mn, Si, P	8,41	58,0
Переход серы в шлак	0,29	2,0
Разложение карбонатов (флюсов в том числе)	0,51	3,5
Разложение влаги дутья	0,22	1,5
Разложение гидратов, испарение влаги	0,14	1,0
Унос теплоты чугуном, шлаком и газом	3,62	25,0
Теплопотери (через стены и с охлаждающей водой)	1,31	9,0
Итого	14,5	100,0

Уменьшение затрат энергии на восстановление оксидов: увеличение степени косвенного восстановления (рациональное газораспределение, увеличение восстановительных газов); ослабление внутренних связей восстанавливаемых оксидов (катализаторы, электричество, ультразвук, гамма облучение и пр.).

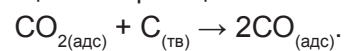
Рациональное распределение шихты и газа на колошнике возможно устроить путём получения стохастических математических моделей на базе производственных данных с последующей оптимизацией последних [6], что даёт снижение расхода кокса примерно 2,6 % и повышение производительности ≈ 6 %.

Кроме того, ввод в верхнюю часть ультразвука при помощи разрыхлителей [7] воздействует на оксиды железа в твёрдом состоянии, что также приводит к активации восстановительных процессов. У поверхности восстанавливаемого оксида имеется диффузионный слой, перенос восстановителя и газообразных продуктов реакции через который осуществляется исключительно молекулярной диффузией, тормозящей этот перенос.

Ультразвуковые колебания активизируют частицы восстановителя, что способствует быстрейшему преодолению диффузионного слоя. Вместе с тем, ультразвуковые колебания воздействуют на кристаллическую решётку оксидов железа, что понижает энергию активации восстановительных реакций и способствует преодолению диффузионных затруднений [8]. Расчётный анализ этого способа показывает возможность увеличения производительности до 4-7 % и экономии кокса – более 2 %.

Реакции восстановления оксидов железа, происходящие в доменной печи, могут ускоряться под влиянием различных катализаторов, каковыми могут оказаться различные соединения щелочных металлов, примеси в рудах (марганец, никель, кобальт, ванадий и др.), некоторые отходы производства, излучения высоких энергий, а также другие, пока неизвестные. Интересными с этой точки зрения представляются результаты английских исследователей [9], которые запатентовали способ ускорения восстановления металлических руд, заключающийся в том, что для ускорения процесса восстановления используются реагенты, обеспечивающие образование на поверхности восстанавливаемой руды зародышей металла. Для железной руды одним из таких реагентов служит

хлористое железо – $FeCl_3$, которое активирует поверхность углерода-восстановителя, обеспечивая адсорбцию на ней CO_2 и протекание реакции газификации



Таким образом, исследование и применение достаточно дешёвых катализаторов может значительно улучшить процессы восстановления шихты в доменной плавке и значительно снизить расход кокса, как основного и достаточно дорогого энергоносителя.

Уменьшение потерь энергии в доменной печи с разложением карбонатов, особенно флюсов, можно достичь тремя способами: применением известняков фракции не более 15 мм; разложившегося известняка (извести) и применением в качестве флюса вместо известняка комплексного флюса (железофлюса).

Первый способ хорош тем, что достаточно только подробить и рассеять известняк. В верхней зоне теплообмена печи часть запаса тепла теряется без пользы с колошниковым газом. Это тепло можно использовать на процессы разложения известняка, если применять его дроблёным до оптимальных размеров. На основании расчётных данных, подтверждённых опытными плавками [10], определены оптимальные размеры кусков известняка для доменной плавки, при которых весь известняк будет разлагаться в зоне умеренных температур. Максимальный размер куска сырого известняка, вводимого в доменную печь, не должен превышать 15 мм, ибо такой известняк успеет разложиться в доменной печи до температуры 960 °С. Такой процесс позволит получить от 2 до 5 % экономии кокса в зависимости от количества сырого флюса, применяемого в доменной плавке.

Второй способ – работа доменной печи на негашёной извести из известняка. На полные шлаковые ковши устанавливаются «сковородки» с известняком. Шлаковые ковши транспортируются на шлаковый отвал или на гранбассейн. За время транспортировки известняк в ёмкостях («сковородах») прогревается до высоких температур и превращается в известь. На площадке шлакового отвала или гранбассейна при помощи железнодорожного (или автомобильного) крана ёмкости с прокаленным известняком – негашёной известью, снимаются со шлаковозов и высыпаются в хоперы, которые транспортируются на бункерную эстакаду для применения в доменной плавке в качестве флюсов [11].

Третий способ – это применение в доменной плавке железофлюса, спечённого из концентрата, руды и известняка, основностью 5-7 единиц [5]. Такой флюс, кроме повышенной основности, содержит 30-40 % железа и обладает высокой прочностью. Примерный химический состав комплексного флюса следующий, в %: CaO – 43; SiO_2 – 7,2; Fe – 35; FeO – 45. Применение повышенного количества окатышей снижает расход кокса за счёт повышения содержания железа.

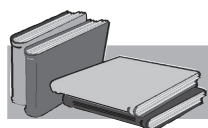
Комплексный флюс тоже снижает расход кокса, необходимый для разложения сырого известняка и за счёт повышенного содержания железа.

Ориентировочная экономия кокса с применением железослюса составит 3-5 %, в зависимости от расхода окатышей в шихте.

Четвёртый способ – это частичная замена дорогого энергоносителя (кокса) на более дешёвый вид – антрацит. Из различных видов каменного угля наиболее широко в доменной плавке применялся естественный антрацит, так как он содержит больше углерода при малом количестве летучих. Главным недостатком даже лучших партий антрацита были его физические свойства, объясняемые его строением – слоистым или пластинчатым, вследствие которого куски антра-

цита при нагревании распадаются по отдельным слоям, причём образуется много мелочи, не продуваемой дутьём и постепенно загромождающей горн доменной печи. Тепловая же обработка антрацита может дать материал (термоантрацит), не дробящийся в мелочь и сохраняющий форму кусков при последовательном прогревании в печи, материал более прочный, чем кокс, лишённый в значительной степени своей серы и ещё более плотный, чем естественный антрацит.

В течение 2001-2005 гг. технология загрузки антрацита обогащённого [12, 13], реализована на доменных печах № 1, 5-8 «Криворожстали» с ежегодным увеличением расхода антрацита на 10-15 кг/т чугуна и доведением среднегодового расхода до 48-55 кг/т в годовом разрезе и коэффициентом замены кокса 0,7-1,1 кг/кг.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Металлургия чугуна* / Е. Ф. Вегман, Г. Н. Жеребин, А. Н. Похвиснев, Ю. С. Юсфин, И. Ф. Курунов, А. Е. Пареньков, П. И. Черноусов. – М.: ИКЦ Академкнига, 2004. – 493 с.
2. *Воскобойников В. Г.* Общая металлургия / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – М.: ИКЦ Академкнига, 2005. – 135 с.
3. *Волков Ю. П.* Технолог – доменщик. Справочник / Ю. П. Волков, Л. Я. Шпарбер, А. К. Гусаров, – М.: Металлургия, 1986. – 247 с.
4. Министерство чёрной металлургии СССР техническое управление ИЧМ. Доменные печи. Нормативы расхода кокса. – М.: ВНИТИ ИЧМ, 1987. – 14 с.
5. *Ковшов В. Н.* Энергосберегающие технологии производства чугуна // В. Н. Ковшов, В. П. Иващенко, В. А. Петренко, С. Е. Сулименко // Уч. пособие. 2-е изд. – Запорожье: Дикое поле, 2015. – 172 с.
6. *Ковшов В. Н.* Теоретическое определение степени использования газового потока с помощью математических моделей распределения шихты и газа по радиусу колошника доменной печи. Сообщение 2 / В. Н. Ковшов, П. А. Заблоцкий, Д. П. Карауш // Теория и практика металлургии. – № 3-4, 2013. – С. 3-6.
7. Патент України на винахід № 107449, С2, МПК (2015.01), С21В 7/04 (2006.01), С21В 7/06 (2006.01), F27D 1/00, F27B 1/14. Спосіб плавки в доменній печі та шахта доменної печі // В. О. Петренко, В. М. Ковшов, В. М. Панін та інш. – Бюл. № 1, 12.01.2015.
8. *Петренко В. А.* Интенсификация процессов газодинамики и массообмена в доменной плавке. – Днепропетровск: Институт технологии, 2000. – 272 с.
9. *Khalafalla S. E., Weston P. L. Jr.* Promoters for carbon monoxide reduction of wustite. "Frans. Metallurg. Soc. AIME", 1967, №10, 1494 -1499.
10. *Коробов И. И.* Металлургия и коксохимия. Рациональное использование шихты в доменной плавке / И. И. Коробов, В. Н. Ковшов, А. Ф. Мищенко. – К.: Техника, 1972. – № 29. – С. 40-46.
11. Патент України на винахід № 92650, С2 МПК(2009), кл-С04В 5/00, С21В 3/06 (2006.01). Пристрій для одержання кускового фракційного матеріалу з розплав // Ю. М. Овчаренко, В. І. Дірда, М. В. Терещенко, В. М. Захарченко, А. Ю. Путнокі, В. М. Ковшов, В. І. Набока, О. П. Фоменко – Бюл. № 22, 25.11.2010.
12. Замена части кокса антрацитом в доменной плавке / А. В. Сокурченко, В. А. Шеремет, А. В. Кекух и др. // Сталь. – 2006. – № 5. – С. 6-11.
13. Коксозамещающие технологии в доменной плавке / В. П. Лялюк, И. Г. Товаровский, Д. А. Демчук и др. // Днепропетровск: Пороги, 2006. – 276 с.

Анотація

Каракай С. М., Ковшов В. М., Петренко В. О.

Стан і перспективи впровадження ресурсозаощаджуючих технологій у доменному виробництві ПАТ «ЄВРАЗ – ДМЗ ім. Петровського»

Наведено шляхи економії енергії та ресурсозаощадження у доменному переділі, які мають застосування зараз і перспективи в майбутньому.

Ключові слова

економія, енергія, ресурси, витрати коксу, доменне виробництво

The existing any prospect ways to save energy and resources in the blast furnace processing are shown.

Оформление рукописи для опубликования

в журнале "Металл и литьё Украины":

Материалы для публикации необходимо подавать в формате, поддерживаемом Microsoft Word, размер страницы А4, книжная ориентация, шрифт – Arial, 10, междустрочный интервал – 1,5. Объем статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.

Рукопись должна содержать:

- УДК;
- фамилии и инициалы всех авторов (на русском, украинском и английском языках);
- название статьи (на русском, украинском и английском языках);
- название учреждения(й), в котором(ых) работает(ют) автор(ы);
- аннотации (на русском, украинском и английском языках);
- ключевые слова (не менее шести) – на русском, украинском и английском языках;
- предлагаемая структура текста (Arial 10, прямой) научной статьи: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».
- таблицы должны иметь порядковый номер (Arial 10, курсив) и заголовок (Arial 10, п/ж), текст в таблице (Arial 9, прямой), примечания к таблицам размещаются непосредственно под таблицей (Arial 8, курсивом).
- формулы (Arial 11, русские символы – прямым, английские – курсивом, греческие – Symbol 12, прямым) должны иметь порядковый номер (Arial 10, прямой);
- рисунки, схемы, диаграммы и другие графические материалы должны быть чёрно-белыми, чёткими, контрастными, обязательно иметь номер и подрисуночную подпись (Arial 9, прямой); все громоздкие надписи на рисунке следует заменять цифровыми или буквенными обозначениями, объяснение которых необходимо выносить в подрисуночную подпись;
- список литературы (Arial 9);
- ссылки нумеруются в порядке их упоминания в тексте, где они обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках (например - [1]).