

Алгоритмы модернизированного управления доменным процессом Публикация VI. Моделирование теплового режима доменной плавки с применением пылеугольного топлива

В. А. СМОЛЯК, М. С. ЗАВГОРОДНИЙ*

Днепродзержинский государственный технический университет
ПАО Днепровский металлургический комбинат имени Ф.Э. Дзержинского

Математическим моделированием определены технологические особенности частичной замены доменного кокса угольной пылью. Описана конструкция промышленной установки для вдувания в горн доменной печи угольной пыли.

Математичним моделюванням визначені технологічні особливості часткової заміни доменного коксу пилеугольним паливом. Описана конструкція промислової установки для вдування вугільного пилу у фурмену зону горна доменної печі.

Technological peculiarities of partial change of blast coke with coke dust have been defined by mathematical modeling. The construction of industrial installation for injection of coal dust into crucible has been described.

Введение. Одним из основных путей повышения эффективности доменного производства является сокращение расхода кокса при выплавке чугуна путем частичной замены его более дешевым пылеугольным топливом, что позволяет не только существенно снизить себестоимость и капиталоемкость чугуна, но и улучшить структуру топливопотребления. В связи с дефицитностью каменных углей, которые могут быть использованы для коксования, в последнее время во многих странах изучается вопрос о возможности непосредственного использования в доменной плавке некоксуемых углей. Будучи измельчены, такие угли могут быть введены в печь двойным способом: либо вдуванием пылеугольного топлива через фурмы в горн, либо вводом его в качестве компонента рудноугольных брикетов.

В первом случае такое углеродистое топливо будет заменять кокс как источник тепла, выделяющегося в горне, во втором – будет заменять преимущественно газы-восстановители и частично кокс, расходуемый на прямое восстановление.

Пылеугольное топливо по весу даже при высоком содержании нелетучего углерода и низком содержании золы и серы (например, антрацита) не может быть эквивалентным коксу, так как температура такого топлива не превышает 50° , тогда как температура кокса, происходящего к фурмам, составляет $1400-1500^\circ$. Расход тепла на нагрев пылеугольного топлива частично может быть возмещен за счет повышения нагрева дутья.

В 60-70х годах работы по применению пылеугольного топлива проведены в США, Японии, Англии, Франции и Бельгии. Однако в те годы вдувание угольной пыли не получило широкого распространения несмотря на то, что многие страны располагали крупными запасами угля. Объясняется это тем, что в доменных печах широко использовали природный газ, мазут, стоимость которых была ниже стоимости кокса, дороговизной оборудования и вдувания угля.

В Японии угольную пыль вдувают в доменные печи с 1981 г. на заводах в Онте и Кобэ. Продается угольная пыль по технологии, разработанной фирмами «Армо» и «Петрокарб» (США). Угольную пыль вдували в доменные печи полезным объектом 4158 и 1845

m^3 . Расход пылеугольного топлива составил 50-51 кг/т чугуна при расходе кокса 410-394 кг/т чугуна. Коэффициент замены кокса составил 1,0-1,2 кг/кг угля при неизменной производительности доменных печей.

Доменные печи в Пенине с 1965 г. работают с вдуванием угольной пыли. При среднем расходе топлива 159 кг/т чугуна, расход кокса на печах составил 467 кг/т чугуна. На доменной печи №1 объемом $576 m^3$ расход угольной пыли достиг 279 кг/т чугуна при расходе кокса 336 кг/т чугуна и удельной производительности $245 t/(m^3 \cdot сут)$. В отдельных плавках расход угольной пыли составил 319 кг/т чугуна (около 52% от общего расхода топлива). Оптимальный расход угольной пыли составил около 45% от общего расхода топлива. Уголь для вдувания содержал 77-80% летучего углерода, 13-15% золы, 7-8% летучих и небольшое количество серы (0,12-0,54%).

Постановка и возможность решения проблемы. В настоящее время интерес к вдуванию в доменные печи пылеугольного топлива возрос, так как в доменном производстве даже в условиях отсутствия природного газа можно обеспечить до 10-15% дополнительной экономии кокса.

Наиболее убедительным является опыт длительной промышленной эксплуатации установки для вдувания пылеугольного топлива в горн доменных печей Донецкого металлургического завода и завода «Запорожсталь». Пылеугольное топливо совместно с природным газом используется на доменных печах №1 и 2 ДоМЗ. Расход угля на них в 1983 г. составил 50 и 16 кг/т чугуна. Намечается освоить технологический режим доменной плавки с расходом угольной пыли 50-60 кг/т.

Впервые в мировой практике промышленное освоение новой технологии вдувания пылеугольного топлива в доменную печь было осуществлено в СССР в 1948, 1955 и 1956 гг. на заводе им. Дзержинского[1]. Были проведены опыты по вдуванию угольной пыли из антрацитового штыба. Пыль попадалась в печь в течение четырех суток в среднем по 30т в сутки, температура дутья составляла 800° (на 100° выше, чем в период, предшествующий опытам). Расход кокса при выплавке ферросилиция сократился с 1585 кг/т до 1475 кг/т, или 6,9%; при прекращении вдувания расход кокса вновь возрос до 1580 кг/т. Содержание кремния в чугуне оста-

лось без изменения, а содержание серы уменьшилось (в связи с увеличением основности шлака) с 0,03-0,04% до 0,02-0,025%. Таким образом, при вдувании угольной пыли в количестве 5-6% от общего расхода горючего экономия кокса равна примерно такой же величине.

Математическая модель частичной замены кокса пылеугольным топливом. Модель создана по тепловому балансу. Углерод кокса и угольной пыли газифицируются за счет кислорода сухого дутья и его влаги. Поэтому углерод кокса, газифицируемый у фурм, находится по разности между всем углеродом, сгорающим у фурм, и углеродом угольной пыли, кг/кг чугуна. $C_{фк} = C_{ф} - C_{пг} = 0,33957 - 0,04457 = 0,2950$ кг. Содержание углерода угольной пыли кг/м³

$$(C) = 0,1 (CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_2)(12/22,4) = 0,01 (0,16 + 0,35 + 94,21 + 2 \cdot 0,23)(12/22,4) = 0,5100.$$

Плотность угольной пыли 0,7256 кг/м³. На тонну чугуна вдувается 87,4 м³ угольной пыли или $87,4 \times 0,7256 = 63,4$ кг, в котором содержится $87,4 \cdot 0,51 = 44,57$ кг углерода.

Теплота горения угольной пыли $Q_8 = 15,90 CH_4 + 200,10 C_2H_2 - 126,44 CO_2 = 15,90 \cdot 94,21 + 200,10 \cdot 0,23 - 126,44 \cdot 0,16 = 1523,7$ кДж/м³ или $1523,7 / 0,7256 = 2100$ кДж/кг.

Теплосодержание дутья за вычетом теплоты разложения влаги дутья при температуре 1143 °С.

$$I_d = c_0 t_d - \phi (10802 - c_{H_2O} t_d) 1630,8 - 0,01 (10802 - 2014,3) = 1542,9 \text{ кДж/м}^3,$$

где $c_0 \cdot t_d$ - теплосодержание двухатомных газов при температуре 1143 °С, кДж/м³,

$c_{H_2O} \cdot t_d$ - теплосодержание влаги дутья при 1143 °С, кДж/м³,

ϕ - влажность дутья 1,0%;

10802 - расход тепла на разложение влаги дутья, кДж/м³.

$$= 1,1349 - \text{расход сухого дутья, м}^3/\text{кг чугуна};$$

$$= 1,1340 = 1,1464 - 0,0115,$$

где 1,1464 - расход влажного дутья, м³/кг;

$$0,0115 - \text{влага дутья, м}^3/\text{кг}.$$

Тепловое значение углерода - это количество тепла, выделяющее при горении углерода в CO₂ и CO, отнесенное ко всему газифицируемому углероду ко-лошникового газа. В приведенном тепловом балансе общий приход тепла от горения углерода в CO и CO₂ составит $2890,1 + 589,0 + 4189,0 = 7666,1$ кДж.

Содержание газифицируемого углерода в ко-лошниковом газе - 0,40292 кг/кг.

Тепловое значение углерода $7666,1 : 0,40292 = 19026,4$ кДж/кг С. Коэффициент использования углерода (K_c) представляет собой отношение теплового значения углерода к количеству тепла, выделяющемуся при полном его горении до CO₂, %:

$$K_c = (19026,4 / 33400) 100 = 56,97.$$

Полезно используемое тепло является суммой следующих расходных статей теплового баланса: диссоциации оксидов разложения гидратов и карбонатов, теплосодержание чугуна и шлака. В приведенном тепловом балансе полезный расход тепла равен 8779,8 кДж/кг чугуна.

Весь приход тепла составляет 10619,6 кДж/кг чугуна.

K_t - это отношение полезного расхода тепла в печи к общему приходу тепла, %;

$$K_t = (8779,8 / 10619,6) 100 = 82,7.$$

Технологические аспекты вдувания каменно-угольной пыли. Анализ отечественного и зарубежного опыта дали возможность обосновать проектирование и строительство промышленной установки для доменных печей[2].

Существующие системы, совмещающие в единый комплекс приготовление и вдувание пыли с точки зрения технологии доменного процесса, ненадежны, так как выход из строя одного механизма нарушает подачу пыли в доменную печь. С экономической точки зрения сооружение автономных установок для каждой печи с включением в схему углеподготовительного отделения наиболее значителен. Поэтому циклы приготовления пыли и вдувания ее в печь целесообразно разделить и, следовательно, промышленная схема должна включать: общее углеподготовительное отделение доменного цеха, распределительно-дозировочное отделение для каждой доменной печи или для блока печей, систему распределения угольной пыли по фурмам, индивидуальную для каждой печи.

Пылеугольное топливо из углеподготовительного отделения транспортируется по магистральным пылепроводам на распределительно-дозировочные отделения каждой доменной печи или блока печей. На входе в бункер распределительно-дозировочного отделения воздух следует отделять от пыли в двух последовательно расположенных циклонах, после чего необходимо производить очистку в мокром скруббере. Приемный бункер и пылеочистная система должны работать под небольшим вакуумом, для чего необходимо установить вентилятор. Для выдачи осажденной угольной пыли следует применять пневмокамерные насосы с верхней выдачей материалов.

Пневмокамерный насос должен включать рабочую и шлюзовую камеры. Шлюзовая камера служит для питания угольной пылью рабочей камеры, постоянно находящейся под давлением, на 200-300 кПа прерывающим давлением горячего дутья. Рабочая камера должна быть отделана от шлюзовой, а последняя от приемного бункера конусными затворами с пневматическим приводом.

На участке делитель-фурма необходимо применять специальные шаровые соединения с клиновым зажимом и пробковые краны с круглым проходным сечением.

Для ввода пылеугольного топлива в горн доменной печи рекомендуется применять новое устройство вода через фланец воздушной фурмы с выводом патрубка.

Предложенные рекомендации основаны на опыте, накопленном в процессе испытания и эксплуатации установки на заводе им. Дзержинского (рис. 1).

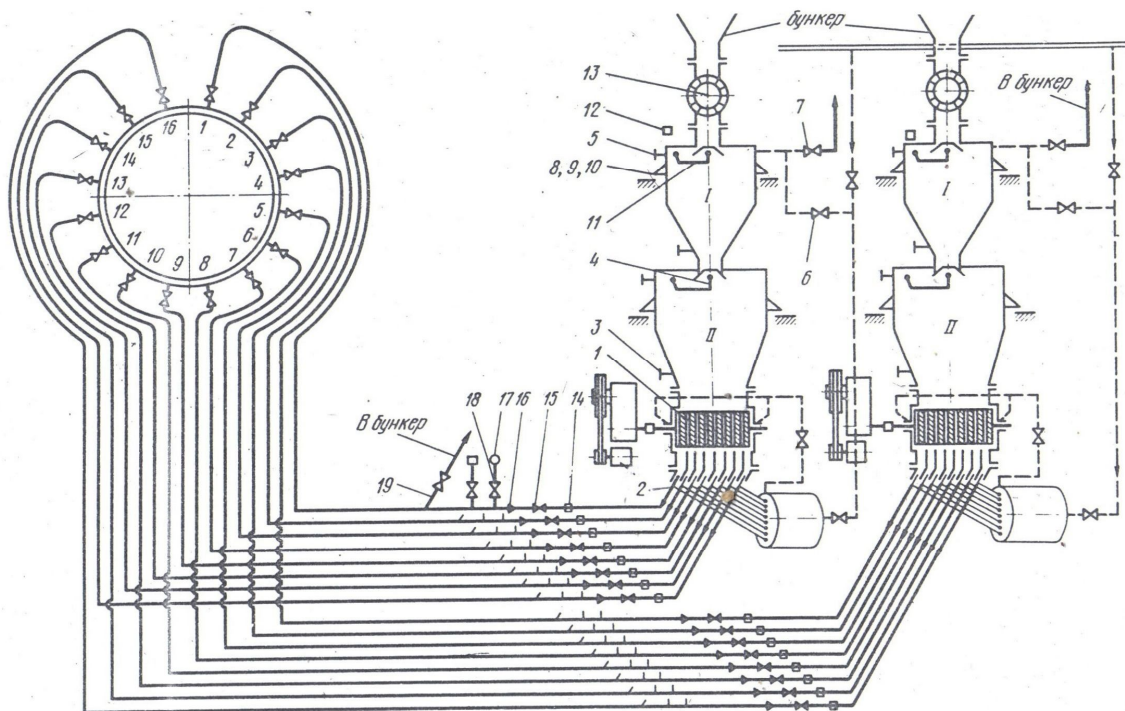


Рис. 1. Схема промышленной установки для вдувания пылеугольного топлива в горн доменной печи: I – резервуар верхний; II – нижний резервуар; 1 – групповой роторный питатель с приводом; 2 – сопла для распыления и транспортировки угольной пыли; 3 – нижний уровнемер; 4 – нижний затвор; 5 – верхний уровнемер; 6, 7 – вентили запорные; 8, 9 – опоры верхнего резервуара; 10 – реле давления; 11 – верхний затвор; 12 – путевой выключатель; 13 – ячейковый питатель; 14 – стеклянная вставка; 15 – пробковый кран; 16 – обратный клапан; 17 – регистратор давления; 18 – электронный манометр; 19 – сброс (продувка) материала в бункер

Таким образом, определяющими факторами эффективного использования пылеугольного топлива в доменных печах является наличие работоспособного оборудования, обеспечивающего в автоматизированном режиме бесперебойную подачу и равномерное распределение топлива по фурмам, а также оперативное регулирование его расхода[3].

Эффективность использования дополнительных топлив в доменной плавке. На разложение и нагрев холодных вдуваемых топливных добавок в окислительной зоне доменной печи затрачивается определенное количество тепла, которое необходимо компенсировать путем повышения температуры дутья или снижения его влажности, то что обеспечивает экономию кокса при хорошем использовании вдуваемого реагента и значительном улучшении технико-экономических показателей доменной плавки.

При горении углерода пылеугольного топлива в доменной печи выделяется меньше тепла, чем при горении эквивалентного количества углерода кокса, нагретого до температуры ~ 1400 °С. Следствием этого является снижение температуры горения и температуры газов в горне. Количество вдуваемого топлива без тепловой компенсации резко ограничивается в результате охлаждения горна, и экономия кокса может быть сведена к нулю. Для повышения эффективности вдувание дополнительных топлив необходимо компенсировать понижение температуры горения повышением температуры дутья топлива.

В зависимости от условий и технологического режима ведения доменной плавки коэффициент замены кокса составляет 1,0 – 1,3 кг кокса/кг пылеугольного топлива.

Выводы

Промышленные плавки с использованием пылеугольного топлива показали, что предложенная технология может способствовать значительному увеличению оптимального расхода угольной пыли вплоть до 100 кг/т чугуна.

Перспективная замена кокса пылеугольным топливом из недефицитных углей до 30% благодаря экономному расходованию коксующихся углей и природного газа будет способствовать улучшению обеспеченности доменных цехов топливом, созданию необходимых нормативных запасов кокса и улучшению его качества.

Положительная сторона вдувания пылеугольного топлива не исчерпывается экономией твердого (кокс) и газообразного (природный газ) топлива, так как внедрение этого мероприятия сопровождается комплексом других взаимосвязанных с ним, в частности таких, как значительное уменьшение площадей, занятых производственными мощностями для получения кокса и соответственно снижение удельных капиталовложений на 1 т чугуна; повышение производительности труда; снижение запыленности воздушного бассейна территории завода и ближайших жилых районов; уменьшение

загрязнения рек и водоемов. Вышеперечисленное имеет немаловажное значение, так как способствует улучшению технико-экономических показателей и социальных условий работы на металлургических предприятиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Логинов, И. М. Глуценко, В. И. Бехбер. Повышение эффективности использования кокса в народном хозяйстве, — М.: «Металлургия», — 1986, — 160 с.
2. Н. В. Дунаев, «Вдувание пылевидных материалов в доменные печи». «Металлургия». — 1977, — 208с.
3. С. Л. Ярошевский, «Применение пылеугольного топлива при выплавке чугуна», Киев, Техника, — 1987, — 188 с.

пост.12.10.12