

Гупало Е.В. – канд. техн. наук, доц., НМетАУ

Гупало В.И. – канд. техн. наук, НМетАУ

Пономоренко Д.С. – студент, НМетАУ

ЭКОНОМИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ В УСЛОВИЯХ НЕРИТМИЧНОЙ РАБОТЫ ПРОКАТНОГО СТАНА

В статье приведены результаты исследования тепловой работы методической печи сортопрокатного стана, отапливаемой смесями высококалорийного и низкокалорийного топлив, при двух способах отопления: с постоянной теплотой сгорания смешенного газа и с изменяющейся теплотой сгорания в зависимости от производительности. Показано изменение расходов топливных смесей, составляющих их газов и общих затрат на топливо в зависимости от производительности и способа отопления печи.

Введение

Одной из важнейших задач, стоящих перед черной металлургией Украины, является повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов путем снижения энергоемкости производства и более полного использования вторичных энергоресурсов.

В сорто- и листопрокатных цехах металлургических предприятий нагрев металла перед обработкой давлением осуществляется, как правило, в методических печах, которые отапливаются природным, коксовым газами и их смесями с доменным газом. При постоянном росте цен на природный газ (ПГ), одним из перспективных мероприятий, обеспечивающих снижение затрат на нагрев металла, является полная или частичная замена природного газа более дешевыми вторичными видами топлива (коксовым (КГ) и доменным (ДГ) газами, а также их смесями) [1].

Для предприятий с полным металлургическим циклом характерна неритмичность работы, как производителей вторичных энергоресурсов (доменные печи, коксовые батареи), так и потребителей этих ресурсов (воздухонагреватели доменных печей, коксовые батареи, котлы ТЭЦ, нагревательные устройства прокатных цехов и др.), в результате чего возникают временные излишки доменного и коксового газов, которые при отсутствии газонакопителей сжигаются на свечах.

Управляя процессом распределения вторичных видов топлива между потребителями, можно полностью израсходовать доменный и коксовый газы при минимальном расходе дорогостоящего природного газа. Для этого на предприятии необходимо иметь как можно больше агрегатов, способных использовать любые виды топлива без ущерба для осуществления технологического процесса. В качестве таких агрегатов могут выступать и методические печи.

В работе [2] предложен способ управления тепловым режимом нагревательной печи, отапливаемой смешанным газом, который включает изменение теплоты сгорания топлива в зависимости от тепловой нагрузки печи. При этом теплота сгорания топливной смеси поддерживается на минимальном уровне, который определяется зоной печи, имеющей в данный момент максимальную тепловую нагрузку. Внедрение указанного способа управления тепловым режимом методической печи сортопрокатного цеха позволило обеспечить экономию природного газа в размере 10 %.

Способ отопления с переменной калорийностью топлива с успехом реализован в нагревательных колодцах, отапливаемых природно-доменной смесью [3]. При нагреве слитков контрольная температура в ячейке во втором периоде нагрева поддерживается постоянной за счет снижения калорийности природно-доменной смеси с 8,4 до 3,8 МДж/м³. Изменение калорийности топлива, также как и в предыдущем случае, осуществляется за счет уменьшения доли природного газа в топливной смеси. Внедрение этого способа отопления обеспечивает экономию природного газа в размере 25 %.

Однако, следует отметить, что нагрев металла с переменной калорийностью топлива возможен при условии реализации технологии раздельной подачи топлив. Согласно этой технологии печь оборудуется собственной смесительной станцией, к которой топливо подводится по двум газопроводам: по одному газопроводу подается низкокалорийное топливо; по другому – высококалорийное топливо – природный газ. Экономическая эффективность применения способа отопления с переменной калорийностью топлива зависит от цен на природный, доменный и коксовый газы, которые могут существенно отличаться на различных предприятиях, а также от затрат на модернизацию системы АСУ ТП печи. Поэтому внедрение этого способа отопления на конкретном тепловом агрегате требует не только разработки новых технических решений по его реализации, но и обязательного экономического обоснования.

Постановка задачи

Задачей данной работы является определение эффективности применения способа отопления методической печи с переменной ка-

лорийностью топлива в условиях неритмичной работы прокатного стана по сравнению с традиционным способом отопления печи топливом постоянной калорийности.

Характеристика объекта исследования

В качестве объекта исследования выбрана толкательная методическая печь со сплошным наклонным монолитным подом, боковым посадом и боковой выдачей заготовок, предназначенная для нагрева металла перед прокаткой на мелкосортном стане. Основные размеры печи: ширина – 12 м; длина активного пода – 18 м.

В печи нагреваются заготовки углеродистой стали квадратного сечения 80×80 мм, длиной 11,6 м до конечных температуры поверхности 1220 °С и перепада температур по сечению заготовок 50 °С. Максимальная производительность печи при холодном посаде заготовок составляет 100 т/ч.

Рабочее пространство печи разделено на три технологические зоны: неотпливаемую методическую и две отапливаемые зоны – сварочную и томильную. Длина активного пода томильной зоны составляет 5,8 м; длина методической и сварочной зон – 12,2 м. Высота рабочего пространства печи: в начале методической зоны – 1,26 м; в конце первой сварочной зоны – 3 м; в конце томильной зоны – 1,75 м.

Каждая отапливаемая зона печи оборудована 9 двухпроводными горелочными устройствами. Воздух, идущий на горение топлива, подогревается до температуры 350 – 370 °С в петлевом трубчатом металлическом рекуператоре, установленном в дымовом борове печи.

При максимальной производительности печь работает по двухзонному температурному режиму. При снижении производительности ниже максимальной, печь переходит на 3-х зонный режим нагрева, при этом температура дымовых газов в сварочной зоне снижается.

Методика выполнения исследований

Исследования выполнены с использованием математической модели тепловой работы методической печи, включающей: расчет горения топлива и определение параметров внешнего теплообмена; расчеты нагрева металла, выполненные на основе метода тепловой диаграммы; определение потерь теплоты рабочим пространством печи, расхода топлива и температуры подогрева воздуха в рекуператоре [4].

При выполнении исследований предполагалось, что на печи реализована технология раздельной подачи топлив, т.е. по отдельным трубопроводам подводятся низкокалорийное топливо – коксодоменная смесь (КДС) с теплотой сгорания 6,07 МДж/м³ и высококалорийное топливо – природный газ с теплотой сгорания 33,9 МДж/м³, а их

смешивание производится непосредственно перед печью.

При существующем способе отопления (в дальнейшем называемом способом 1) печь отапливается природно-коксоδοменной смесью (ПКДС) с постоянной теплотой сгорания 13,4 МДж/м³.

При способе отопления 2 с уменьшением производительности печи снижение теплоты сгорания топлива достигается путем сокращения расхода природного газа. При этом расход КДС остается постоянным и равным расходу КДС при максимальной производительности. При достижении минимально возможного значения теплоты сгорания топлива и дальнейшем уменьшении производительности печи нагрев металла осуществляется при этой теплоте сгорания топлива, а регулирование расхода ПКДС осуществляется путем одновременного сокращения расходов природного газа и коксоδοменной смеси пропорционально их долям в составе ПКДС минимально возможной калорийности.

Минимально возможная величина теплоты сгорания ПКДС определяется, исходя из условия обеспечения требуемой температуры дымовых газов в рабочем пространстве печи:

$$t_{\text{д max}} < t_{\text{действ}} \quad (1)$$

где $t_{\text{действ}} = \eta \cdot t_{\text{кал}}$ – действительная температура дымовых газов [5]; $\eta = 0,6 - 0,8$ – пирометрический коэффициент; $t_{\text{кал}}$ – калориметрическая температура горения топлива, °С.

Как показали расчеты, при пирометрическом коэффициенте $\eta = 0,7$ и температуре подогрева воздуха 340 – 370 °С, которую обеспечивает петлевой металлический рекуператор, установленный в дымовом борове печи, условие (1) может выполняться при теплоте сгорания топлива не ниже 9,2 МДж/м³. Поэтому эта величина принята в дальнейшем в качестве минимально возможной теплоты сгорания ПКДС.

Замена одного топлива другим для одной и той же производительности печи осуществляется при соблюдении условия:

$$V_{\text{ПКДС}_1} \cdot Q_{\text{нПКДС}_1}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ПКДС}_1} = V_{\text{ПКДС}_2} \cdot Q_{\text{нПКДС}_2}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ПКДС}_2} \quad (2)$$

где $V_{\text{ПКДС}_1} \cdot Q_{\text{нПКДС}_1}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ПКДС}_1}$ – расход ПКДС, теплота сгорания ПКДС и коэффициент использования теплоты топлива (КИТ) при способе отопления печи с постоянной калорийностью топлива; $V_{\text{ПКДС}_2} \cdot Q_{\text{нПКДС}_2}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ПКДС}_2}$ – расход ПКДС, теплота сгорания ПКДС и КИТ при способе отопления печи с переменной калорийностью топлива.

Множители левой части уравнения (2) можно представить в виде:

$$V_{\text{ПКДС}_2} = V_{\text{КДС}_2} + V_{\text{ПГ}_2} \quad (3)$$

$$\eta_{\text{ПКДС}_2} = \frac{Q_{\text{н ПКДС}_2}^{\text{р}} + L_{\text{н}_2}^{\text{в}} \cdot i_{\text{в}}^{\text{тв}1} - \nu_{\text{д}_2} \cdot i_{\text{д}_2}^{\text{тух}1}}{Q_{\text{н ПКДС}_2}^{\text{р}}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{КДС}_2}$, $V_{\text{ПГ}_2}$ – расходы КДС и ПГ, входящие в состав ПКДС с $Q_{\text{н ПКДС}_2}^{\text{р}}$, м³/с; $L_{\text{н}_2}^{\text{в}}$, $\nu_{\text{д}_2}$ – действительный расход воздуха и удельный выход дыма при сжигании ПКДС с $Q_{\text{н ПКДС}_2}^{\text{р}}$, м³/ м³; $i_{\text{в}}^{\text{тв}1}$ – энтальпия воздуха, соответствующая температуре подогрева воздуха в рекуператоре, рассчитанной при отоплении печи по способу 1; $i_{\text{д}_2}^{\text{тух}1}$ – энтальпия дымовых газов, рассчитанная по составу продуктов сгорания топлива с $Q_{\text{н ПКДС}_2}^{\text{р}}$, соответствующая температуре уходящих из печи дымовых газов при способе отопления 1.

После подстановки (3), (4) в (1) получим уравнение:

$$V_{\text{ПКДС}_1} \cdot Q_{\text{н ПКДС}_1}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ПКДС}_1} = (V_{\text{КДС}_2} + V_{\text{ПГ}_2}) \cdot \left(Q_{\text{н ПКДС}_2}^{\text{р}} + L_{\text{н}_2}^{\text{в}} \cdot i_{\text{в}}^{\text{тв}1} - \nu_{\text{д}_2} \cdot i_{\text{д}_2}^{\text{тух}1} \right), \quad (5)$$

решение которого методом последовательных приближений позволяет определить расход ПГ и теплоту сгорания топлива, обеспечивающие выполнение условия (2).

В качестве показателя эффективности использования для отопления печи смешанного газа различного состава принята величина удельных затрат на топливо:

$$Z_{\text{топл}} = b \cdot C_{\text{ПКДС}} \cdot 10^{-3}, \quad \text{грн/т}, \quad (6)$$

где $C_{\text{ПКДС}} = C_{\text{КДС}} \cdot X_{\text{КДС}} + C_{\text{ПГ}} \cdot X_{\text{ПГ}}$ – цена ПКДС, грн/тыс.м³; b – удельный расход ПКДС, м³/т; $C_{\text{КДС}} = C_{\text{КГ}} \cdot X_{\text{КГ}} + C_{\text{ДГ}} \cdot X_{\text{ДГ}}$ – цена коксодоменной смеси, грн/тыс.м³; $C_{\text{ПГ}}$, $C_{\text{КГ}}$, $C_{\text{ДГ}}$ – цены на природный, коксовый и доменный газы, соответственно, грн/тыс.м³; $X_{\text{КДС}}$, $X_{\text{ПГ}}$ – доли коксодоменной смеси и природного газа в ПКДС; $X_{\text{КГ}}$, $X_{\text{ДГ}}$ – доли коксового и доменного газов в КДС.

Результаты исследований

Исследования тепловой работы методической печи выполнены в интервале изменения производительности 100 – 60 % от максимальной при существующем способе отопления с постоянной калорийностью топлива (способ 1 – сплошные кривые) и способе отопления с переменной калорийностью топлива (способ 2 – пунктирные кривые). Установлены зависимости изменения теплоты сгорания топлива, рас-

ходов природно-коксо доменной смеси, природного газа и коксо доменной смеси от производительности печи. Результаты расчетов приведены на рис. 1 – 4.

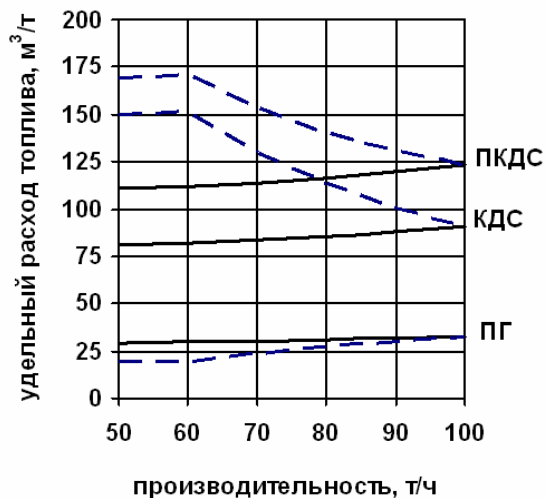


Рис. 1. Зависимость удельных расходов ПКС, КДС и ПГ от производительности печи: сплошные кривые – способ 1; пунктирные кривые – способ 2

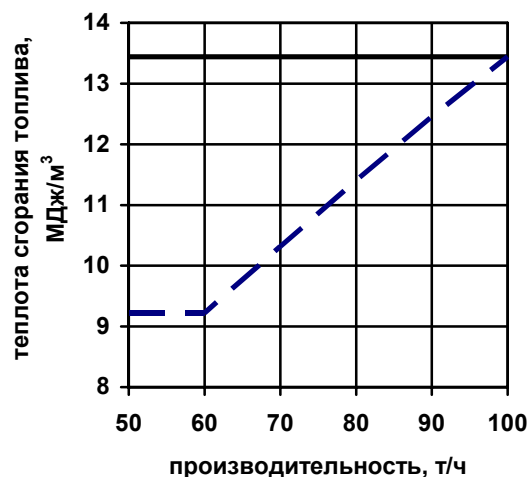


Рис. 2. Зависимость теплоты сгорания природно-коксо доменной смеси от производительности печи: сплошная кривая – способ 1; пунктирная кривая – способ 2

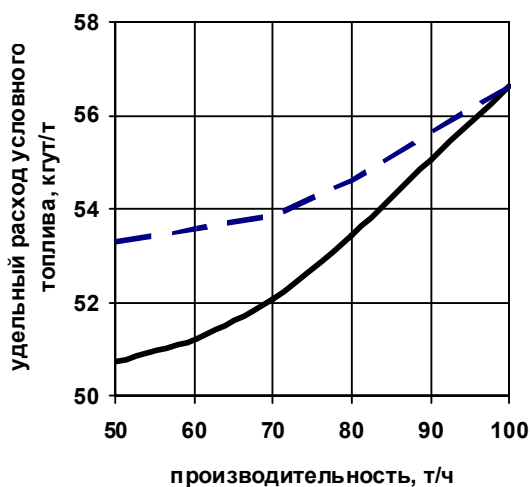


Рис. 3. Зависимость удельного расхода условного топлива от производительности печи: сплошная кривая – способ 1; пунктирная кривая – способ 2

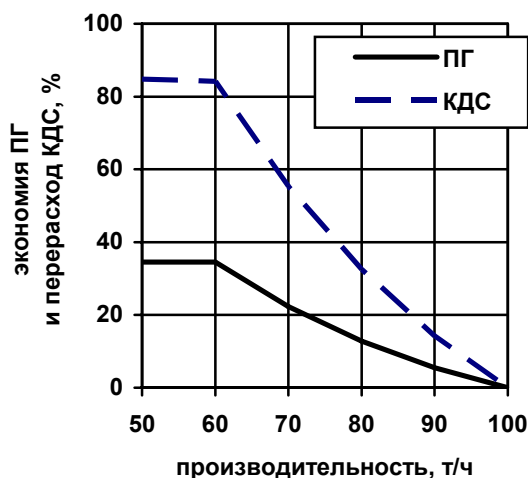


Рис. 4. Эффективность способа отопления печи с переменной калорийностью топлива

Как видно из рис. 1, снижение производительности печи от 100 до 60 т/ч при способе отопления 1 обеспечивается плавным снижением удельных расходов КДС и ПГ, в то время как при отоплении печи ПКС с переменной калорийностью (способ 2) снижение производительности печи приводит к снижению удельного расхода ПГ

при одновременном увеличении удельного расхода КДС. Теплота сгорания топлива, как видно из рис. 2, при способе отопления 2 изменяется в указанном диапазоне изменения производительности по линейному закону с $13,4 \text{ МДж/м}^3$ до минимально возможного значения $9,2 \text{ МДж/м}^3$, обеспечивающего выполнение условия (1). Дальнейшее снижение производительности печи осуществляется при постоянной теплоте сгорания ПКДС, равной $9,2 \text{ МДж/м}^3$ и одновременном сокращении расходов ПГ и КДС.

Сравнение результатов расчета удельных расходов условного топлива показано на рис. 3. Как видно из рисунка, удельный расход условного топлива при способе отопления 1 ниже, чем при способе отопления 2. Несмотря на это, способ отопления 2 можно считать более экономичным с точки зрения затрат на нагрев металла. Так, на рис. 5

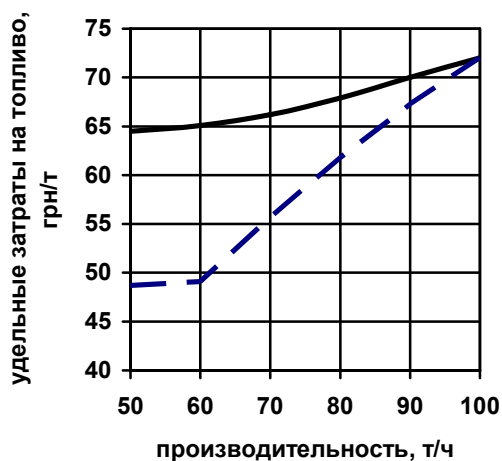


Рис. 5. Зависимость удельных затрат на топливо от производительности печи:
сплошная кривая – способ 1;
пунктирная кривая – способ 2

показано изменение удельных затрат на топливо, рассчитанное при следующих исходных данных:

$$\begin{aligned} C_{\text{ПГ}} &= 2015 \text{ грн/тыс.м}^3; \\ C_{\text{КГ}} &= 232 \text{ грн/тыс.м}^3; \\ C_{\text{ДГ}} &= 28 \text{ грн/тыс.м}^3. \end{aligned}$$

При принятых ценах на топлива изменение теплоты сгорания ПКДС с $13,4$ до $9,2 \text{ МДж/м}^3$ приводит к снижению цены ПКДС с $583,1$ до $278,5 \text{ грн/тыс.м}^3$, а перевод печи на работу с переменной калорийностью топлива, обеспечивает снижение удельных

затрат на топливо, достигающих 16 грн/т при переходе печи на работу с низкой производительностью $50 - 60 \text{ т/ч}$.

Выводы

1. Установлено, что для методических печей, отапливаемых смесями природного газа и низкокалорийного топлива, применение способа отопления с переменной калорийностью топливной смеси в условиях неритмичной работы прокатного стана позволяет обеспечить экономию природного газа за счет увеличения доли низкокалорийного топлива в топливной смеси.

2. Сравнение способов отопления методической печи с постоянной и переменной калорийностью топлива показало, что при снижении производительности печи до 60% от максимальной про-

изводительности применение способа отопления с переменной калорийностью топлива обеспечивает максимальную экономию природного газа в размере 35 % за счет увеличения расхода низкокалорийного топлива до 85 %. При существующих ценах на природный, коксовый и доменный газы максимальное снижение удельных затрат на нагрев металла составляет 16 грн/т (или 24 %) и достигается при снижении производительности печи до 60 % от максимальной.

Список литературы

1. Карп И.Н., Губинский М.В., Назюта Л.Ю. К вопросу об энергетическом балансе металлургического завода // Труды XV международной конференции «Теплотехника и энергетика в металлургии», НМетАУ, г. Днепропетровск, Украина, 7–9 октября 2008 г. – Днепропетровск: «Новая идеология, 2008. – С. 114 – 115.

2. Пат. № 2002108149 UA, МКИ 55286 А С21D1/34 С21D9/00 / Спосіб управління тепловим режимом нагрівальних печей// Дубина О.В., Сокуренько А.В., Шеремет В.О. и др. – Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.

3. Рациональное использование природного газа при производстве проката в условиях АП «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» / Ольшанский В.М., Гупало В.И., Федюкин А.А., Грызлов Е.Г., Белицкий М.Г. // Металл и литье Украины.– 1997.– № 2-4.– С. 36 – 39.

4. Тайц Н.Ю., Розенгарт Ю.И. Методические нагревательные печи.– М.: Металлургиздат, 1964.– 408 с.

5. Семикин И.Д., Аверин С.И., Радченко И.И. Топливо и топливное хозяйство металлургических заводов.– М.: Металлургия, 1965.– 391 с.

Рукопись поступила 02.03.2009 г.