

Каракаш Е.А. – канд. техн. наук, доц., НМетАУ

ИССЛЕДОВАНИЕ АККУМУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Исследована аккумулирующая способность доменного воздухо-нагревателя. Рассмотрены различные варианты распределения температур по высоте регенеративной насадки. Определены ресурсо- и энергосберегающие режимы нагрева доменного воздухонагревателя.

Введение

Предпосылками для использования воздухонагревателей в качестве не только теплообменных регенеративных аппаратов, но и в качестве аккумуляторов тепловой энергии является относительно низкая величина коэффициента использования теплоты в насадке.

Постановка задачи

Коэффициент использования теплоты в насадке K_u [1] в научно-технической литературе определяется из выражения:

$$K_u = \frac{\Delta I_H}{I_H} = \frac{\Delta I_{nc}}{I_H} = \frac{\Delta I_{\text{дуть}}}{I_H}, \quad (1)$$

где I_H – общее количество теплоты, аккумулированной в насадке:

$$I_H = m_n C_n \bar{t}_n(H). \quad (2)$$

Средняя температура по высоте насадки:

$$\bar{t}_n(H) = \frac{\int_0^H t_{cp} dH}{H}, \quad (3)$$

где t_{cp} – среднемассовая температура кирпича насадки, °С; H – высота насадки, м.

$\bar{t}_n(H)$ – вычисляется по графику $\bar{t}_{cp} = f(H)$, с использованием кусочно-линейной аппроксимации действительной кривой;

$\Delta I_H, \Delta I_{nc}, \Delta I_{\text{дуть}}$ – соответственно изменение теплосодержания насадки, продуктов сгорания и дутья.

$$\Delta I_{nc} = B v_{nc} \Delta i_{nc} \tau_1, \quad (4)$$

$$\Delta I_{\text{дутья}} = V_{\text{дутья}} \Delta i_{\text{дутья}} \tau_2, \quad (5)$$

$$\Delta I_H = m_H C_H \Delta i_H \quad (6)$$

или

$$\Delta I_H = \sum_{i=1}^n m_i C_{Hi} \Delta i_{Hi},$$

где m_H – общая масса насадки, кг; $B, V_{\text{дутья}}$ – секундные расходы газа и дутья, м³/с; $C_H, m_i, \Delta i_{Hi}$ – теплоемкость (Дж/(кг К)), масса (кг), изменение теплосодержания i -го яруса насадки (Дж/кг); τ_1, τ_2 – длительности периодов «нагрева» и «дутья», с; Δi_{nc} – изменение энтальпии продуктов горения за время нагрева, Дж/м³; $\Delta i_{\text{дутья}}$ – изменение теплосодержания дутья за время охлаждения, Дж/м³; Δi_H – изменение теплосодержания насадки за период «дутья» или «нагрева», Дж/кг (принимали, что общее количество теплоты, остающейся в насадке в период «нагрева», равно количеству теплоты, передаваемой насадкой дутью).

Методика исследования

Характер кривой $\bar{t}_{cp}(H)$ определяется соотношением водяных (тепловых) эквивалентов $W_{\text{дым}}/W_{\text{дутья}}$ продуктов горения $W_{\text{дым}} = V_{\text{дым}} C_{\text{дым}} \tau_1$ и дутья $W_{\text{дутья}} = V_{\text{дутья}} C_{\text{дутья}} \tau_2$.

Чем выше указанное соотношение, тем более выпуклой будет кривая $\bar{t}_{cp}(H)$ и тем выше будет усредненная температура насадки по ее высоте и, значит, тем больше в насадке накопится теплоты при том же ограничении по температуре низа насадки (400 °С) и достижении этого ограничения.

Аккумулирующая способность кирпича насадки характеризуется величиной $\rho \cdot r_{\text{э}} \cdot C_H$.

При плотности динаса $\rho_d = 1850 \text{ кг/м}^3$, каолина $\rho_k = 2300 \text{ кг/м}^3$, шамота $\rho_{\text{ш}} = 2100 \text{ кг/м}^3$, средних температурах динаса 1030 °С, каолина 675 °С, шамота 325 °С, средние теплоемкости и аккумулирующая способность ярусов составят:

- динаса $C_d = 0,512 + 4,6 t_d \cdot 10^{-4} = 0,9858 \text{ кДж/кг К}$;
- каолина $C_k = 0,871 + 1,46 t_k \cdot 10^{-4} = 0,9696 \text{ кДж/кг К}$;
- шамота $C_{\text{ш}} = 0,544 + 3,52 t_{\text{ш}} \cdot 10^{-4} = 0,6584 \text{ кДж/кг К}$.

Аккумулирующая способность ярусов насадки:

- динасового $[r_{\text{э}} \cdot \rho \cdot C_H]_d = 0,0205 \cdot 1850 \cdot 0,9858 = 37,39 \text{ кДж/м}^2 \text{ К}$;
- каолинового $[r_{\text{э}} \cdot \rho \cdot C_H]_k = 0,0205 \cdot 2300 \cdot 0,9656 = 45,33 \text{ кДж/м}^2 \text{ К}$;

– шамотного $[r_{\text{э}} \cdot \rho \cdot C_n]_{\text{ш}} = 0,0205 \cdot 2100 \cdot 0,6584 = 28,34 \text{ кДж/м}^2 \text{ К}$.

Таким образом, наибольшей аккумулирующей способностью обладает коалиновый ярус насадки. В условиях температур горячего дутья (ГД) перед доменной печью $1000 - 1050 \text{ }^\circ\text{С}$, обусловленных технологией ведения доменной плавки и связанной, в основном, с низким качеством кокса и железорудного сырья [2], указанные температуры горячего дутья достигаются даже на 3-х аппаратах, а масса, соответствующая массе одного из четырех аппаратов блока ВН, может быть использована для аккумуляции теплоты.

На рис. 1 представлены распределения температур по высоте насадки при различных режимах отопления доменных воздухонагревателей (различных отношений водяных эквивалентов).

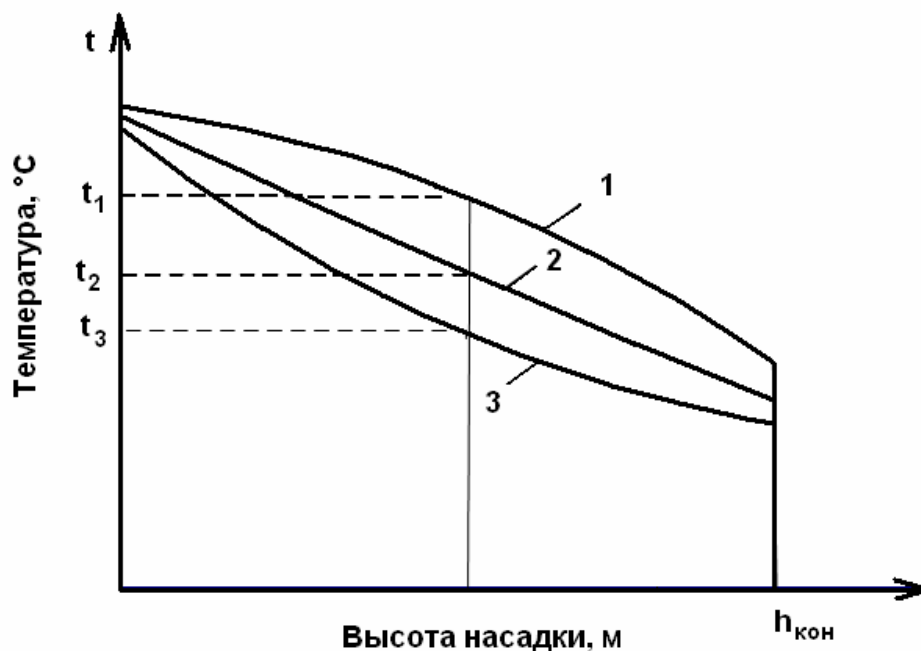


Рис. 1. Распределение температур по высоте насадки при различных режимах:

$$1) \frac{W_{\text{дым}}}{W_{\text{дут}}} > 1; \quad 2) \frac{W_{\text{дым}}}{W_{\text{дут}}} = 1; \quad 3) \frac{W_{\text{дым}}}{W_{\text{дут}}} < 1$$

И.Д. Семикин и Э.М. Гольдфарб в своих работах по доменным воздухонагревателям [1] для коэффициента теплопередачи в насадке указывали на необходимость учитывать аккумуляцию теплоты в насадке $\rho \cdot r_{\text{э}} \cdot C_n$.

В выражении (7) для коэффициента теплопередачи в насадке, ответственной за аккумуляцию теплоты, является величина $1/(\rho \cdot r_3 \cdot C_H)$:

$$\chi = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \tau_1} + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{r_3 \rho C} + \frac{4R}{3 \lambda \tau_{общ}} \right) + \frac{1}{\alpha_2 \tau_2}}. \quad (7)$$

Это подтверждает необходимость производить нагрев насадки с распределением температур по выпуклой кривой.

Избыточно аккумулированная в насадке воздухонагревателя теплота, приводящая к повышению температуры ГД, может быть использована доменной печью в следующих ситуациях:

1) при похолоданиях печи возможно увеличить температуру горячего дутья, например, до уровня 1150 °С и выше [3] на доменной печи 9 ОАО «Миттал Стил-Кривой Рог»;

2) непосредственно после выпуска чугуна (кратковременно), когда в горн приходят более холодные массы шихты.

Выводы

Работа воздухонагревателей с аккумуляцией теплоты сжигаемого доменного газа приводит к следующим результатам:

– к повышению энергоэффективности тепловой работы воздухонагревателя [4] (экономия энергии вместо сжигания избыточного газа на «свече», при этом температура продуктов сгорания, выбрасываемых в атмосферу, составляет 1100 – 1200 °С);

– к снижению теплового загрязнения окружающей среды, так как дымовые газы из блока воздухонагревателей будут входить в дымовую трубу с температурой 140 – 150 °С при наличии рекуператоров для подогрева компонентов горения или со средней температурой 250 – 275 °С при отсутствии таковых;

– к увеличению стойкости динасового яруса насадки в связи с увеличением температуры на границе динас-каолин из-за увеличения общего уровня температуры в насадке, в том числе, средней температуры насадки по высоте (соответствующая температура фазового превращения кварца динаса 573 °С).

Следует отметить, что на использование доменного воздухонагревателя в качестве теплового аккумулятора указывали также специалисты из Австрии Г. Бекман и П. Гилли [5].

Список литературы

1. Семикин И.Д., Гольдфарб Э.М. Регенерация тепла в доменных воздухонагревателях // Сталь. – 1954. – № 9. – С. 790 – 796.

2. Баум В.А., Будрин Д.В., Иващенко А.И. Металлургические печи. – М.: Metallurgizdat. – 1951. – 975 с.
3. Жеребин Б.Н.. Практика ведения доменной печи. – М.: Металлургия, 1980. – 248 с.
4. Нові підходи до оперативного управління дуттевим режимом доменної печі / Б.П. Довгалюк, В.Г. Крупій, Г.Л. Цимбал, В.Ю. Шевченко // Праці V Міжнародного конгресу доменників. – Дніпропетровськ: Пороги, 2000. – С. 391 – 393.
5. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулярование энергии. – М.: Мир, 1987. – 272 с.

Рукопись поступила 15.04.2008 г.