

### *Тепловой баланс доменной плавки*

Для реализации доменного процесса необходимо тепло. Оно расходуется на нагрев загруженных в доменную печь шихтовых материалов, плавления чугуна и шлака, оно необходимо для компенсации отрицательных тепловых эффектов восстановления оксидов железа и других элементов, для увеличения скорости течения химических реакций, сопровождающих доменный передел, для разложения гидратных и карбонатных соединений, для испарения влаги шихты и т.д.

Результат тепловой работы доменной печи наглядно отражает тепловой баланс плавки. Этот баланс дает общую картину как приходной, так и расходной частей баланса, что позволяет выполнить обоснованный анализ тепловой работы печи и сделать конкретные выводы о возможности сокращения удельного расхода кокса при доменной плавке.

Тепловой баланс доменной плавки выполняется на основе составленного материального баланса; он составляется на 1 кг чугуна и для наглядности отображается в табличном виде.

#### **Приходная часть теплового баланса включает в себя следующие статьи**

- *Количество тепла, получающегося при горении углерода кокса, определяется из уравнения*

$$Q_{\Gamma} = C_{\Phi} \cdot 9800 \cdot 10^{-3}, \quad (3.1)$$

где  $C_{\Phi}$  – количество углерода кокса, сжигаемого у фурм, кг/т чугуна.

- *Приход тепла с нагретым дутьем:*

$$Q_{H.Д} = 0,001 V_{Д} \left\{ \left[ 0,01 \omega C_{O_2} + (1 - 0,01 \omega) C_{N_2} \right] (1 - 0,00124 f) + 0,00124 f C_{H_2O} \right\} \cdot t_{Д}, \quad (3.2)$$

где  $V_{Д}$  – расход дутья, м<sup>3</sup>/т чугуна;

$\omega$  – содержание кислорода в дутье, %;

$C_{O_2}, C_{N_2}, C_{H_2O}$  – теплоемкости газов и паров воды, кДж/(м<sup>3</sup>·К);

$f$  – влажность дутья, г/м<sup>3</sup>;

$t_{Д}$  – температура горячего дутья, °С.

- *Количество тепла, выделяющегося при конверсии (неполном горении) природного газа* (при условии, что природный газ – это метан):

$$Q_{\text{кон.п.г}} = 0,001 \cdot V_{\text{п.г}} \cdot 1657 , \quad (3.3)$$

где  $V_{\text{п.г}}$  – расход природного газа, м<sup>3</sup>/т чугуна.

- *Количество тепла, выделяющегося при процессе шлакообразования.* Эта статья прихода тепла в печь учитывается только в случае загрузки в печь «сырого» известняка, поскольку если используется окускованное рудное сырье, то процессы минералообразования с соответствующими тепловыми эффектами проходят на агломерационной либо обжиговой машине, а не в доменной печи. Эта статья прихода тепла определяется из уравнения

$$Q_{\text{шл.обр}} = 1128 \cdot 10^{-5} \cdot G_{\text{и}} \cdot (n_{\text{мпп}})_{\text{и}} , \quad (3.4)$$

где  $G_{\text{и}}$  – удельный расход загружаемого в печь известняка, кг/т чугуна;  
 $(n_{\text{мпп}})_{\text{и}}$  – потери массы при прокаливании известняка, мас. %.

- В случае загрузки в печь горячего агломерата необходимо учитывать еще одну статью прихода тепла – *физическое тепло шихты*. Эта статья рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{н.жрм}} = 0,001 G_{\text{жрм}} C_{\text{жрм}} t_{\text{жрм}} , \quad (3.5)$$

где  $G_{\text{жрм}}$  – удельный расход «горячего» агломерата, кг/т чугуна;  
 $C_{\text{жрм}}$  – теплоемкость «горячего» агломерата, кДж/(кг·К);  
 $t_{\text{жрм}}$  – температура «горячего» агломерата, °С.

Эта статья прихода тепла имеет место только при загрузке в печь горячего агломерата, температура которого при его загрузке в печь составляет 400–600 °С, а теплоемкость агломерата при этой температуре можно принимать равной 0,95 кДж/(кг·К).

#### **Расходная часть теплового баланса включает следующие статьи**

- *Расход тепла на прямое восстановление оксидов железа* определяется из уравнения

$$Q_{PP}^{Fe} = 0,01[Fe]r_d 2716, \quad (3.6)$$

где  $r_d$  – степень прямого восстановления, доли ед.

- *Расход тепла на прямое восстановление примесей чугуна:*

$$Q_{PP}^{PP} = 0,01 \cdot (5220 \cdot [Mn] + 22600 \cdot [Si] + 15490 \cdot [P] + 36167 \cdot [Ti] + 7982 \cdot [V]), \quad (3.7)$$

где  $[Mn]$ ,  $[Si]$ ,  $[P]$ ,  $[Ti]$ ,  $[V]$  – содержание элементов в чугуне, %.

- *Затраты тепла на процесс десульфурации чугуна:*

$$Q_S = 1734 \cdot 10^{-5} U_{шл} (S), \quad (3.8)$$

где  $U_{шл}$  – удельный выход шлака, кг/т чугуна;

(S) – содержание серы в шлаке, %.

- *Затраты тепла на компенсацию отрицательного теплового эффекта восстановления оксидов железа водородом:*

$$Q_B^{H_2} = 1731 \cdot 10^{-3} [0,00124 f V_D + 2 V_{П.Г}] \eta_{H_2}, \quad (3.9)$$

где  $\eta_{H_2}$  – степень использования водорода в печи.

- *Количество тепла, уносимого из печи жидким чугуном:*

$$Q_{ч} = 1 C_{ч} t_{ч}, \quad (3.10)$$

где  $C_{ч}$  – теплоемкость жидкого чугуна, кДж/(кг·К) (принимается 0,9 кДж/(кг·К);

$t_{ч}$  – температура чугуна, °С.

- *Количество тепла, уносимого из печи жидким шлаком:*

$$Q_{шл} = 0,001 U_{шл} C_{шл} (t_{ч} + 50), \quad (3.11)$$

где  $C_{шл}$  – теплоемкость жидкого шлака, кДж/(кг·К) (принимается 1,26 кДж/(кг·К).

- *Расход тепла на разложение влаги дутья:*

$$Q_{ВЛ} = 1,24 \cdot 10^{-5} V_{Д} f_{6912}. \quad (3.12)$$

- *Расход тепла на разложение известняка:*

$$Q_{И} = 4042 \cdot 10^{-5} G_{И} (пмпн)_{И}, \quad (3.13)$$

$G_{И}$  – расход известняка, кг/т чугуна;

$(пмпн)_{И}$  – потери массы при прокаливании известняка, %.

- *Расход тепла на испарение влаги шихты в общем случае определяется следующим образом:*

$$Q_{ВП.Ш} = 2452 \cdot 10^{-5} (G_{ЖРМ} f_{ЖРМ} + G_{И} f_{И} + k f_K), \quad (3.14)$$

где  $G_{ЖРМ}$ ,  $G_{И}$ ,  $k$  – удельные расходы рудных материалов, известняка и кокса, кг/т;

$f_{ЖРМ}$ ,  $f_{И}$ ,  $f_K$  – содержание влаги в материалах, мас. %.

- *Количество тепла, уносимого из печи колошниковым газом, определяется из уравнения*

$$Q_{КГ} = 10^{-5} \left\{ \left[ CO_2^{КГ} C_{CO_2} + (CC^{КГ} + N_2^{КГ}) C_{N_2} + H_2^{КГ} C_{H_2} \right] V_{КГ} + \right. \\ \left. + \left[ G_{ЖРМ} f_{ЖРМ} + G_{И} f_{И} + k f_K + \frac{V_{КГ} H_2^{КГ} \cdot \eta_{H_2}}{(1 - \eta_{H_2})} \right] C_{H_2O} \right\} t_{КГ}, \quad (3.15)$$

где  $C_{CO_2}$ ,  $C_{CO}$ ,  $C_{N_2}$ ,  $C_{H_2O}$  – теплоемкости соответствующих газов при температуре колошникового газа, кДж/(м<sup>3</sup>·К).

- *Тепловые потери печи с охлаждающей водой и в окружающее пространство находятся по разности между суммой прихода тепла в печь ( $Q_{ПРИХОД}$ ) и суммарным значением найденных выше статей расхода ( $Q_{\Sigma}$ ):*

$$Q_{Потерь} = Q_{приход} - Q_{\Sigma}. \quad (3.16)$$

Следует отметить, что тепловые потери печи при работе доменных печей с достаточно сохранившейся огнеупорной кладкой, с исправной системой охла-

ждения в нормальном режиме работы при выплавке передельных чугунов составляют 10 – 15 %. Тепловые потери печи зависят также и от производительности доменной печи; при работе печи в режиме «тихого хода» с уменьшенным расходом дутья тепловые потери печи возрастают, что сопровождается ростом удельного расхода кокса.