вывод

Как видим, эффективность среднегодового солнечного излучения по сравнению с северными провинциями на плато Тэйнгуен в южной части Центрального Вьетнама и провинциях Южного Вьетнама высокая и стабильная в течение всего года. Системы, использующие солнечную энергию и установленные в Северном Вьетнаме, обойдутся дороже систем, используемых на Юге. Как следствие – они должны обладать большой мощностью, чтобы компенсировать недовыработку энергии за долгие зимние месяцы.

Представлена кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции

Поступила 25.05.2009

УЛК 621.3.036

ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА ПРИ ОЦЕНКЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Докт. техн. наук, проф. НЕСЕНЧУК А. П., канд. техн. наук РЫЖОВА Т. В., магистр КОВАЛЕВ С. С., канд. техн. наук, доц. ЧЕРНЫШЕВИЧ В. И., магистр ШИДЛОВСКИЙ В. В.

Белорусский национальный технический университет, ОАО «Минский автомобильный завод», УП «Авторемпромпроект», Государственный институт переподготовки кадров «Газ-институт»

Управление температурой печи при нагреве (термообработке) не является основным условием соблюдения технологии. Все операции, связанные с ведением режима, должны выполняться в строгом соответствии с температурным графиком, который индивидуален для конкретной садки (конечно, если рабочее пространство спроектировано исходя из классических принципов и соответствует температурному графику).

Удельный расход органического топлива находится из выражения

$$BQ_{\rm H}^{\rm p}\eta_{\rm H,T} + Q_{\rm _{9K3}} = 1,05 \left(Q_{\rm l} + \sum_{i=1}^{n} Q_{i}\right); \quad b = \frac{B}{P}, \tag{1}$$

где В – расход топлива на теплотехнологию нагрева (термообработки), кг/ч; $\eta_{\text{и.т}}$ – коэффициент использования топлива [1, 2], $\eta_{\text{и.т}} = \frac{h_{\text{т}} - h_{\text{г.ух}} + h_{\text{в.o}}}{h_{\text{т}}};$

b – удельный расход топлива, кг/кг; h_т – пирометрическая характеристика

топлива, $h_{\rm T} = \frac{Q_{\rm H}^{\rm p}}{\sum V_i}; Q_1$ – теплота, пошедшая на нагрев до температуры

операции ковки, штамповки, прокатки и термообработки [1]; $\sum_{i=1}^{n} Q_i$ – сум-

ма потерь теплоты печью (устанавливается индивидуально для конкретной печи); *Р* – производительность печи, кг/ч.

Влияние температурного графика на величину удельного расхода топлива b сказывается (в большей мере) на Q_1 в соответствии с выражением

$$Q_{1} = P\left(c_{p}^{\overline{t}_{\text{BMX}}} \overline{t}^{\text{BMX}} - c_{p}^{\overline{t}_{\text{BX}}} \overline{t}^{\text{BX}}\right) + \Delta Q_{\delta P}, \qquad (2)$$

где $\overline{t}^{\text{вых}}$ и $\overline{t}^{\text{вх}}$ – соответственно средние по сечению температуры металла на выходе и входе в печь, рассчитываются индивидуально и выбираются в соответствии с температурой операции горячего формообразования (термообработки) и температурного графика; $Q_{\delta P}$ – затратная составляющая, связанная с угаром при нагреве ($\delta P = 1-3$ %).

Обращаясь к (2), следует помнить, что температура $\overline{t}^{\text{вых}}$ является функцией

$$\overline{t}^{\text{BMX}} = f\left(t^{\text{BMX}(\Pi)}; t^{\text{BMX}(\Pi)}\right),$$

где *t*^{вых(п)} и *t*^{вых(ц)} – соответственно температуры на поверхности и в центре садки в момент выдачи металла из нагревательного устройства, значения которых определяют время нагрева садки до температуры операции и как следствие удельный расход органического топлива.

При построении температурного графика нагрева конкретной садки прежде всего определяется ее характеристика, позволяющая разделить термически массивные (Bi \ge Bi_{кp}) и тонкие (Bi < Bi_{кp}) тела. Дело в том, что температурный график нагрева при условии Bi \ge Bi_{кp} обязательно должен иметь зону выдержки, в которой температура $t^{\text{вых(u)}}$ доводится до температуры операции тепловой обработки t_{on} . При этом поверхность несколько перегревается по отношению к температуре операции t_{on} :

$$t^{\text{Bbix}(\Pi)} - t^{\text{Bbix}(\Pi)} + \Delta t; \ \Delta t = \delta t \cdot x.$$

Здесь δt – допустимая удельная неравномерность прогрева контрольного сечения (в направлении потока теплоты); x – характерный размер в направлении теплового потока (выбирается от поверхности нагреваемого изделия до его геометрического центра).

Значения б*t* установлены в рамках:

- термическая обработка, $\delta t = 3-5$ °C/см;
- нагрев под горячее формообразование, $\delta t = 2-3 \text{ °C/cm}$.

Основной нагрев (наряду с продолжительностью выдержки) существенно сказывается на величине Q_1 , входящей в (1) (рис. 1).



Рис. 1. Зона выдержки нагревательной (термической) печи при Ві ≥ Ві_{кр}

Как видим, процесс догрева центра садки до температуры операции (ковка, штамповка, прокатка, термообработка) должен управляться схемой автоматического регулирования, управляющей подачей топлива и воздухаокислителя. Регулирование подачи топлива в этой зоне выполняется в рамках $B_{выд} \rightarrow$ var в строгом соответствии с регулированием поступающего в зону (зоны) основного нагрева топлива. И без четкого регулирования (управления) подачи топлива обойтись не представляется возможным, так как все топливо, поступающее в печь *B*, складывается из двух частей $B_{o,h}$ и $B_{выд}$

$$B = B_{0.H} + B_{BLIZ},\tag{3}$$

где *B*_{о.н} и *B*_{выд} – соответственно подача топлива в зоны основного нагрева и выдержки.

В реальных условиях работы печей долевое соотношение *B*_{о.н} и *B*_{выд} (3) не выдерживается, потому что существующие (весьма примитивные) температурные графики это обстоя-

тельство игнорируют. Если происходит рассогласование между долями Во.н и Ввыд, то, как правило, увеличивается время выдержки, что приведет к росту удельного расхода органического топлива *b* на 1 т садки (рис. 1). При этом следует помнить, что контроль за соблюдением разумного соотношения между $B_{0,H}$ и B_{Bbld} (3) возможен при наличии регулирования тепловой нагрузки зон основного нагрева и выдержки. Обстановка также сильно осложняется тем, что в зоне основного нагрева (20-700 °С) температуропроводность садки изменяется в двачетыре раза (рис. 2).



Рис. 2. Значения коэффициента температуропроводности различных марок сталей [3]:
1 – 30Г2; 2 – 30ХН3; 3 – 50С2Г; 4 – Р18;
5 и 6 – хромоникелевые аустенитные стали; 7 – Г13; 8 – ст. 20; 9 – 08

Существенное влияние температуропроводности *а* на нагрев, как правило, при разработке температурного графика работниками машинострои-

тельных и автотракторных предприятий не учитывается, что приводит к систематическим дополнительным энергетическим затратам. При формировании типоразмерного ряда нагреваемой садки в конкретной печи появляются дополнительные энергозатраты, обусловленные несовместимостью температурного графика и марки стали (рис. 2).

Как видим, разработка температурного графика нагрева массивной садки (Bi \ge Bi_{кр}) требует строгого учета рассмотренных выше ее особенностей, которые сосредоточены в наличии специальной отапливаемой зоны, где температура продуктов сгорания (точнее, температура печи) снижается на 50–100 °C, а $t^{\text{вых(ц)}} = t_{\text{оп}}$ (металл же на поверхности несколько перегревается), что должно соблюдаться неукоснительно.

При построении температурного графика нагрева нельзя забывать о зонах, предшествующих выдержке (зонах основного нагрева, который заканчивается при температуре поверхности t_{on}). Основной нагрев до температуры $t_{och}^{пов} = t_{on}$ при его ошибочной реализации может существенно повлиять на время выдержки (рис. 3).



В зоне основного нагрева в интервале температур 0–700 °С (нерегулярный режим) повышение температуры поверхности происходит при низких значениях коэффициента температуропроводности, что может стать причиной ее перегрева. Температура же середины заготовки начинает существенно расти в интервале 600–1200 °С (рис. 3), оставаясь практически неизменной во временном интервале зон основного нагрева. При этом садка по поверхности неизбежно приобретает температуру операции задолго до наступления выравнивания температур $t_{\rm och}^{\rm noв}$ и $t_{\rm och}^{\rm u}$ (в зону выдержки металл поступает с $t_{\rm och}^{\rm noв} > t_{\rm on}$) (рис. 3). По этой причине температурный график основного нагрева трансформируется к виду (рис. 3, режим 1), что свидетельствует о различии в энергозатратах в режимах 1 и 2.

Когда садка характеризуется малым значением *a* и если согласно нашему условию она температуру $t^{\text{пов}} = t_{\text{оп}}$ должна иметь в конце основного нагрева (на входе в зону выдержки), то, имея $a \rightarrow \min$ (рис. 2, кривые 3–7), нагрев поверхности произойдет значительно раньше, причем температура ее середины t^{μ} будет очень низкой. В зону выдержки заготовка поступит холодной. Такая ситуация возможна при нагревании сталей высокоуглеродистых и легированных 50С2Г, Р18, Г13 и др. Кроме всего, на нерегулярном режиме (начальный этап нагревания) зоны основного нагрева будут наблюдаться температурные напряжения, превышающие предел упругости σ_{y} материала садки, что послужит причиной образования остаточных напряжений в садке до операций горячего формообразования и резания. Что касается термической обработки и случаев нагрева при Bi < Bi_{кр}, то наверняка установлено, что остаточных напряжений (в отличие от Bi ≥ Bi_{кр}) не возникнет.

Основной нагрев (Bi ≥ Bi_{кр}) высокоуглеродистых и легированных сталей должен выполняться с низкими скоростями на этапе нерегулярного режима (20–700 °C). Для этого зону основного нагрева делят на две части:

• зону щадящего нагрева (методическая зона);

• зону форсированного нагрева (сварочная зона).

Классическое оформление рабочего пространства в соответствии с таким разделением основного нагрева показано на рис. 4.

Рис. 4. Схема рабочего пространства печи производительностью 120 т/ч с тремя температурными зонами и пятью отсеками горения органического топлива (три верхних и два нижних отсека горения): 1–3 – соответственно методическая, сварочная зоны и зона выдержки (томильная зона)



На рисунке приведены методическая и сварочная зоны, а также зона выдержки садки (томильная зона). В таком исполнении нагрузки всех зон регулируются автоматически, так как в каждую подводится топливо. Для определения количества поступающего в зоны топлива $B_{\text{осн1}}$, $B_{\text{осн2}}$ и $B_{\text{выд}}$ для каждой из зон составляется индивидуальный тепловой баланс. Температурный график такой печи приведен на рис. 5.





По различным причинам до настоящего времени разрабатывались печи с упрощенной зоной основного нагрева (рис. 6 и 7). В таких печах реализация полноценного температурного графика весьма ограничена (печи машиностроительного и автотракторного производств, обычно это печи малой производительности – до 5 т садки в час). Естественно, в таких печах изложенные выше принципы построения температурного графика не учитываются, вследствие чего имеют место повышенные энергозатраты либо низкое качество нагрева.



Рис. 6. Схема рабочего пространства нагревательной печи с упрощенной зоной основного нагрева (методическая и сварочная зоны совмещены): а и б – соответственно рабочее пространство с несимметричным и симметричным нагревом садки; 1 и 2 – соответственно зона основного нагрева и зона выдержки



Рис. 7. Схема рабочего пространства полуметодической нагревательной печи машиностроительного предприятия (производительность по садке – 1,5 т/ч)

Последнее достаточно наглядно прослеживается на рис. 8, на котором изображены температурные графики нагрева печей с классическим рабочим пространством (рис. 4) и упрощенной зоной основного нагрева (полуметодическая печь, рис. 7).

В отличие от рис. 8а в печи (рис. 8б) подача топлива в зоны 1 и 2 основного нагрева не регулируется и, как следствие, конечная неравномерность прогрева контрольного сечения садки превышает установленные нормы. Устранение такого недостатка возможно только при ее необоснованной дополнительной выдержке.



Рис. 8. Реальный температурный график нагрева заготовки из высокоуглеродистой стали Ві ≥ Ві_{кр}: а – симметричный нагрев в методической печи с индивидуальным подводом в каждую из зон (рис. 4); б – несимметричный нагрев в полуметодической печи (рис. 6) с подачей топлива только в зону выдержки; 1–3 – соответственно температуры греющих газов (печи), поверхности и середины заготовки

вывод

Проектирование рабочего пространства всегда должно выполняться с учетом изложенных принципов и в соответствии с температурным графиком, который при $Bi \ge Bi_{kp}$ должен иметь не менее двух отапливаемых зон: зону выдержки и зону (зоны) основного нагрева, оснащенную соответствующими горелочными устройствами. В отдельных случаях нагрева в первой зоне печи ни в коем случае не должны быть использованы горелки с плоским пламенем.

ЛИТЕРАТУРА

1. С т а л ь н о й слиток: нагрев / В. И. Тимошпольский [и др.]; под общ. ред. В. И. Тимошпольского, Ю. А. Самойловича: в 3 т. – Минск: Белорусская наука, 2001. – Т. 3.

2. Н е с е н ч у к, А. П. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки: для студ. вузов энерг. и машиностроит. спец.: в 2 ч. / А. П. Несенчук, В. И. Тимошпольский; под общ. ред. А. П. Несенчука. – Минск: БНТУ, 2008. – Ч. 2.

3. Т а й ц, Н. Ю. Технология нагрева стали / Н. Ю. Тайц. – М.: ГНТИ по черной и цветной металлургии, 1950.

Представлена кафедрой ПТЭ и ТТ

Поступила 09.09.2009