

УДК 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

$$BQ_n \eta_{и.т} + Q_{экс} = 1,05 \left(Q_1 + \sum_{i=1}^n Q_i \right); \quad b = \frac{B}{P}, \quad (1)$$

где B – расход топлива на теплотехнологию нагрева (термообработки), кг/ч; $\eta_{и.т}$ – коэффициент использования топлива [1, 2], $\eta_{и.т} = \frac{h_T - h_{г.ух} + h_{в.о}}{h_T}$;
 b – удельный расход топлива, кг/кг; h_T – пирометрическая характеристика

топлива, $h_t = \frac{Q_n^p}{\sum V_i}$; Q_1 – теплота, пошедшая на нагрев до температуры

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

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

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

$$Q_1 = P \left(c_p^{\bar{t}_{\text{вх}}} \bar{t}^{\text{вх}} - c_p^{\bar{t}_{\text{вых}}} \bar{t}^{\text{вых}} \right) + \Delta Q_{\delta P}, \quad (2)$$

где $\bar{t}^{\text{вх}}$ и $\bar{t}^{\text{вых}}$ – 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 $\bar{t}^{\text{вых}}$ является функцией

$$\bar{t}^{\text{вых}} = f \left(t^{\text{вх(п)}}; t^{\text{вх(ц)}} \right),$$

где $t^{\text{вх(п)}}$ и $t^{\text{вх(ц)}}$ – 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 ($V_i \geq V_{i\text{кр}}$) и тонкие ($V_i < V_{i\text{кр}}$) тела. Дело в том, что температурный график нагрева при условии $V_i \geq V_{i\text{кр}}$ обязательно должен иметь зону выдержки, в которой температура $t^{\text{вх(ц)}}$ доводится до температуры операции тепловой обработки $t_{\text{оп}}$. При этом поверхность несколько перегревается по отношению к температуре операции $t_{\text{оп}}$:

$$t^{\text{вх(п)}} = t^{\text{вх(ц)}} + \Delta t; \Delta t = \delta t \cdot x.$$

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 δt установлены в рамках:

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

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

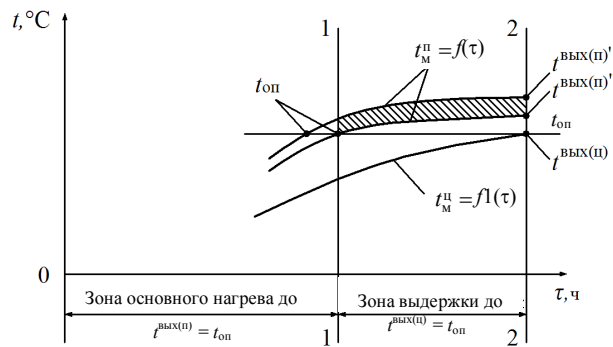


Рис. 1. Зона выдержки нагревательной (термической) печи при $Bi \geq Bi_{кр}$

Как видим, процесс догрева центра садки до температуры операции (ковка, штамповка, прокатка, термообработка) должен управляться схемой автоматического регулирования, управляющей подачей топлива и воздухо-окислителя. 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 $B_{о.н}$ и $B_{выд}$

$$B = B_{о.н} + B_{выд}, \quad (3)$$

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 обстоятельство игнорируют. Если происходит рассогласование между долями $B_{о.н}$ и $B_{выд}$, 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 $B_{о.н}$ и $B_{выд}$ (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 два–четыре раза (рис. 2).

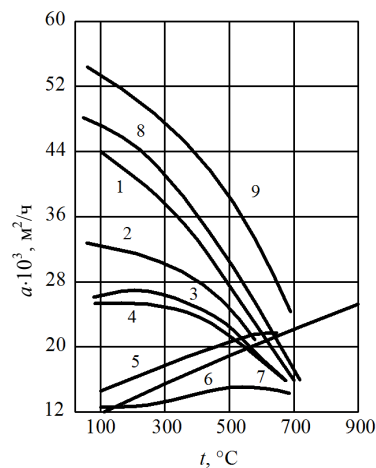


Рис. 2. Значения коэффициента температуропроводности различных марок сталей [3]: 1 – 30Г2; 2 – 30ХНЗ; 3 – 50С2Г; 4 – Р18; 5 и 6 – хромоникелевые аустенитные стали; 7 – Г13; 8 – ст. 20; 9 – 08

Существенное влияние температуропроводности a на нагрев, как правило, при разработке температурного графика работниками машиностро-

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 ($V_i \geq V_{i,кр}$) 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 °С, а $t^{вых(ш)} = t_{оп}$ (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 $t_{оп}$). Основной нагрев до температуры $t_{осн}^{пов} = t_{оп}$ при его ошибочной реализации может существенно повлиять на время выдержки (рис. 3).

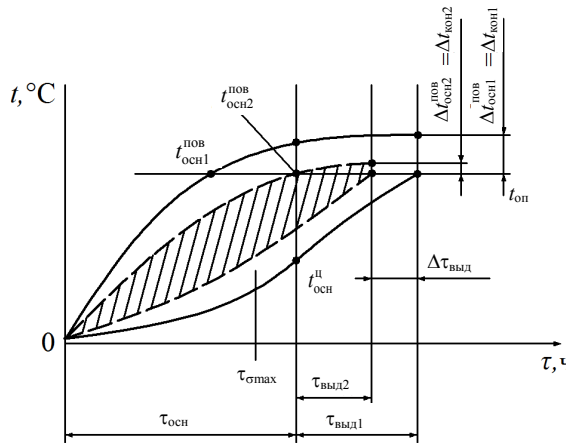


Рис. 3. Температурный график с учетом скорости нагрева и сорта стали: — — режим нагрева 1; - - - - - то же 2

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 $t_{осн}^{пов}$ и $t_{осн}^{ц}$ (в зону выдержки металл поступает с $t_{осн}^{пов} > t_{оп}$) (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 $t^{пов} = t_{оп}$ должна иметь в конце основного нагрева (на входе в зону выдержки), то, имея $a \rightarrow \min$ (рис. 2, кривые 3–7),

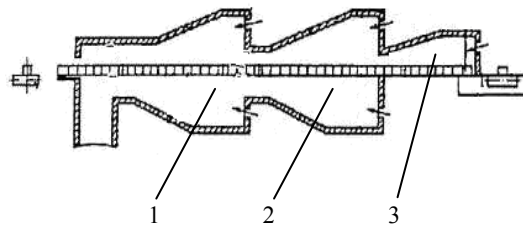
нагрев поверхности произойдет значительно раньше, причем температура ее середины t^{II} будет очень низкой. В зону выдержки заготовка поступит холодной. Такая ситуация возможна при нагревании сталей высокоуглеродистых и легированных 50С2Г, Р18, Г13 и др. Кроме всего, на нерегулярном режиме (начальный 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 $Vi < Vi_{\text{кр}}$, то наверняка установлено, что остаточных напряжений (в отличие от $Vi \geq Vi_{\text{кр}}$) не возникнет.

Основной нагрев ($Vi \geq Vi_{\text{кр}}$) высокоуглеродистых и легированных сталей должен выполняться с низкими скоростями на этапе нерегулярного режима (20–700 °С). Для этого зону основного нагрева делят на две части:

- зону шадящего нагрева (методическая зона);
- зону форсированного нагрева (сварочная зона).

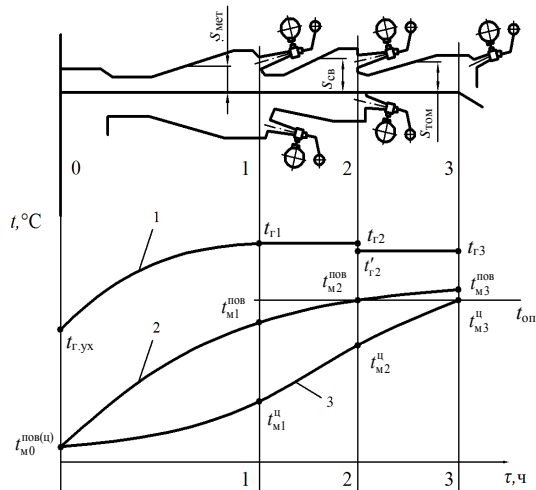
Классическое оформление рабочего пространства в соответствии с таким разделением основного нагрева показано на рис. 4.

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.

Рис. 5. Схема рабочего пространства трехзонной (пятизонной по отсекам горения) методической нагревательной печи (рис. 4) и ее температурный график: 1 – изменение температуры продуктов сгорания; 2, 3 – то же соответственно на поверхности и в центре нагреваемой заготовки



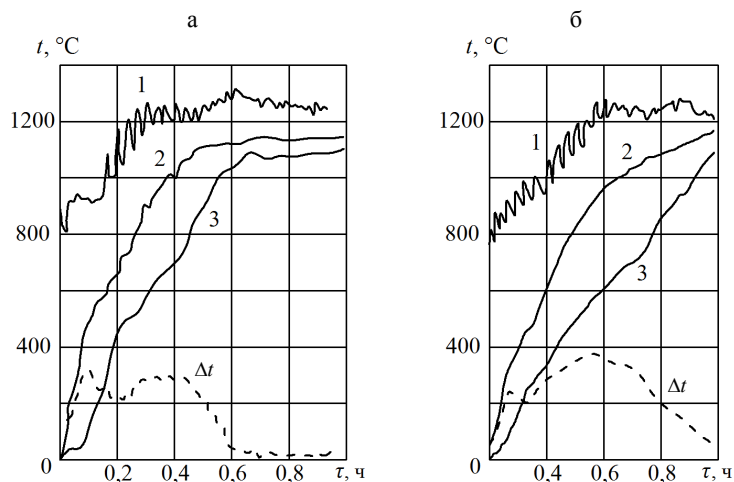


Рис. 8. Реальный температурный график нагрева заготовки из высокоуглеродистой стали $V_i \geq V_{i_{кр}}$: а – симметричный нагрев в методической печи с индивидуальным подводом в каждую из зон (рис. 4); б – несимметричный нагрев в полуметодической печи (рис. 6) с подачей топлива только в зону выдержки; 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 $V_i \geq V_{i_{кр}}$ 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. Стальной 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. Несенчук, 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. Тайц, 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