На основании экспериментов получены значения φ для первого φ_{1-1} и последующих рядов. Значения φ_{1-3} во всем интервале измерений были меньше 0,07—0,05, что удовлетворительно согласуется с результатами наших наблюдений по оценке $\alpha_{экспер}$ для третьего ряда, где максимальные значения $\alpha_{изл} / \alpha_{конв} \leq 0{,}05 - 0{,}03$.

На рис. 2 показаны значения φ_{1-1} и φ_{1-2} в зависимости от поперечного шага s_1 и расстоянии h.

Полученные результаты были учтены при расчете $\alpha_g^{\Sigma} = \alpha_g^{изл} + \alpha_g^{конв}$ и коэффициента теплоотдачи $k_{кл}$ для рекуператоров из литых ребристых элементов. В качестве примера на рис. 3 показана номограмма для определения $k_{кл}$ от скорости дыма v при нормальных условиях и температуры дымовых газов T_g (ad=45 см; h =22,5 см).

Как видно из номограммы, получается удовлетворительное совпадение расчетных кривых с экспериментом.

А.П. Несенчук, А.А. Шкляр
В.А. Каган, А.М. Ривкин

НАГРЕВ ШТАНГ В КАМЕРНЫХ ПЕЧАХ ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНЫХ МАШИН

Оптимальное распределение температуры в заготовке имеет исключительное значение при нагреве, так как от распределения температруры зависит время нагрева и величина окисления и обезуглероживания поверхности садки. В свою очередь, и то и другое в значительной мере определяют качество и себестоимость продукции.

Рассмотрим температурные поля при нагреве штанг из стали ШХ-15 в моменты времени 0,4; 0,5 и 0,6 ч, когда процессы окисления и обезуглероживания наиболее вероятны. Нагрев выполняется в камерной печи горизонтально-ковочной машичы (ГКМ) и предшествует горячей ковке колец крупногабаритных подшипников.

Решение задачи о распределении температуры в садке выполнено на электронно-вычислительной машине "Минск-32". Программа и машинный алгоритм были разработаны применительно к транслятору "ФОРТРАН".

Нагрев штанги характеризуется условиями

$$\frac{R}{H} < 0{,}1 \ , \qquad Bi \geq Bi_{кр},$$

где R, H — соответственно радиус и длина штанги.

Начальные и граничные условия могут быть сформулированы так:

$$\left.\begin{aligned} t(r,0) &= f(r), \\ -\frac{\partial t(R,\tau)}{\partial r} &+ \alpha\left[t_c - t(R,\tau)\right] = 0, \\ \frac{\partial t(0,\tau)}{\partial r} &= 0; \ t(0,\tau) \neq \infty. \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Решение уравнения теплопроводности в соответствии с (1) имеет вид [1]

$$\frac{t(r,\tau)}{t_c - t_o} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n I_o\left(\mu_n \frac{r}{R}\right)\exp(-\mu_n^2 Fo), \qquad (2)$$

где

$$A_n = \frac{2I_1(\mu_n)}{\mu_n\left[I_o^2(\mu_n) + I_1^2(\mu_n)\right]}.$$

Здесь μ_n -- корни уравнения $\frac{I_o(\mu)}{I_1(\mu)} = \frac{\mu}{Bi}$; Fo, Bi— соответственно критерии Фурье и Био, $Fo = \frac{a\tau}{\bar{x}^2}$; $Bi = \frac{\alpha X}{\lambda}$.

Как известно, решение (2) получено при условии, что термофизические характеристики в процессе нагрева неизменны. В интервале температур нагрева для стали ШХ-15 можно принять: a =0,02 $м^2$/ч, λ =36 ккал/м·ч·°С.

Полагая, что садка плотная, величина интенсивности теплообмена между печными газами и ее поверхностью находится так:

$$\alpha = -\frac{C_o \varepsilon_г \varepsilon_м \dfrac{\frac{1}{\omega_i}(1-0{,}25) + 1}{\frac{1}{\omega_i}(1-\varepsilon_г)\left[\varepsilon_м + \varepsilon_г(1-\varepsilon_м)\right] + \varepsilon_г}\left[\left(\frac{T_c}{100}\right)^4 - \left(\frac{T(R,\tau)}{100}\right)^4\right]}{t_c - t(R,\tau)}. \qquad (3)$$

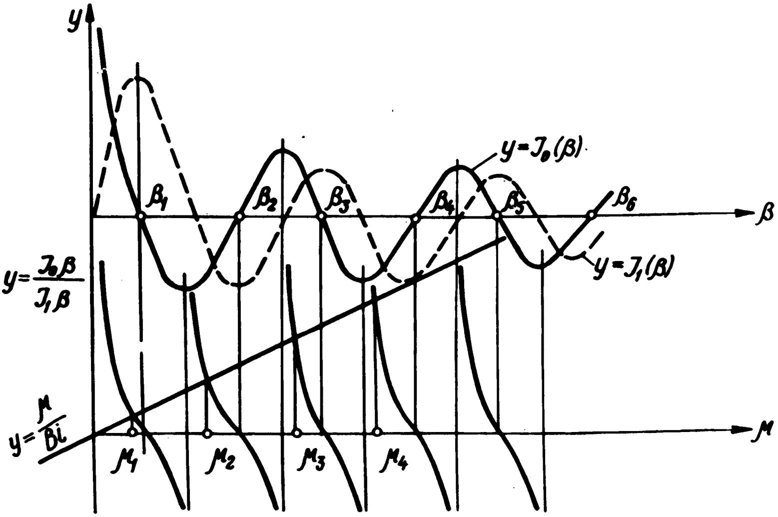

Рис. 1. График для отыскания корней характеристического уравнения для цилиндра.

Значения $T(R,\tau)$ и $t(R,\tau)$ в (3) следует подставлять средние за цикл нагрева.

Применительно к камерной печи ГКМ (ГПЗ-11) можно записать, что α =200 ккал/м^2.ч.$^\circ$С.

Нагреву подвергаются штанги диаметром 80—120 мм при температуре газов в печи 1150—1190°С. Формулируем условия, при которых совершается нагрев: a=0,02 м^2.ч, λ =36 ккал/м·ч·$^\circ$С, α = 200 ккал/ м^2 · ч·$^\circ$С, t_o=20°С, t_c =1150-1190°С (с шагом 10°С), X=0,04—0,06 м (с шагом 0,01), $\frac{r}{R}$ =0,2—0,6 (с шагом 0,2) и τ =0,4—0,6 часа (с шагом 0,1).

Решение будем выполнять по формуле (2). Для этого разработан алгоритм, состоящий из алгоритма нахождения корней μ_n и поиска μ_n.

Каждый корень μ_n ищем на отрезке $[\beta_{n-1};\ \beta_n]$(рис. 1), где β_n — корни функции $I_o(\beta)$. При этом полагаем β_o =1.

Алгоритм поиска μ_n заключается в следующем:

а) от очередного значения β_{n-1} с некоторым положительным шагом вычитаем значения $I_o(\beta_{n-1,j})$ до тех пор, пока I_o не примет значение противоположного знака. Полагаем, что

$\beta_{n-1,j} = \beta_n$; б) от значения β_n с некоторым отрицательным шагом вычитаем значения $\frac{I_o(\beta_{n,k})}{I_1(\beta_{n,k})}$ и $\frac{\beta}{Bi}$ до тех пор, пока не выполнится неравенство

$$\frac{\beta}{Bi} \leq \frac{I_o(\beta_{n,k})}{I_1(\beta_{n,k})} .$$

Значение $\beta_{n,k}$ в этой точке и есть μ_n, определенное с некоторой точностью. Точность μ_n обеспечивается наперед заданной точностью z и дроблением отрицательного шага при точке μ_n на отрезке $[\beta_{n-1}, \beta_n]$ до тех пор, пока не выполнится условие

$$\left| \frac{\beta}{Bi} - \frac{I_o(\beta_{n,k})}{I_1(\beta_{n,k})} \right| \leq z .$$

После нахождения очередного значения μ_n подставляем его в выражение

$$A_n I_o(\mu_n \frac{r}{R}) \exp(-\mu_n^2 Fo),$$

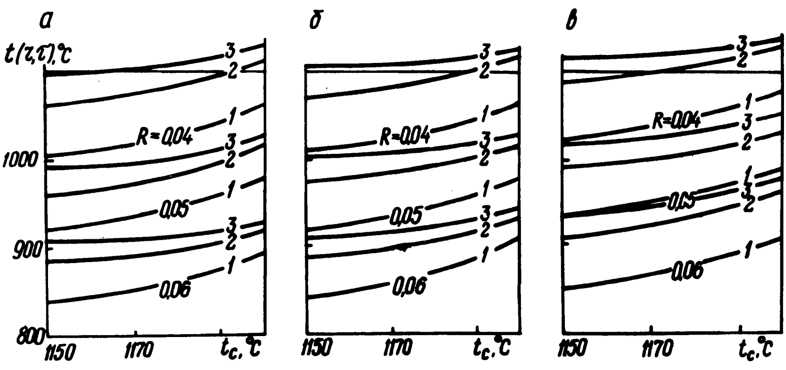

Рис. 2. Графики, устанавливающие зависимость $t(r,\tau) = f(t_c)$:
1—3—соответственно для моментов времени 0,4; 0,5; 0,6 ч (а — $\frac{r}{R}$ = 0,2; б — 0,4:, в — 0,6).

являющееся членом ряда. Если при μ_n член ряда по модулю оказывается меньше некоторой наперед заданной точности, суммирование ряда прекращаем, подсчитываем значение $T(r, \tau)$ и осуществляем переход к следующему набору аргументов t_c, X, $\frac{r}{R}$, τ.

После исчерпания всех значений аргументов решение считается законченным. На печать в каждой строчке выдаются значения аргументов и $t(r,\tau)$. Распечатка результатов решения представлена в виде графиков $t(r,\tau)=f(t_c)$ на рис. 2.

Литература

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М., 1967.

В.И. Емельянчиков, Е.И. Олейник

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ КОНВЕКЦИЕЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ

При автоматизации процессов пуска и останова теплоэнергетического оборудования возникает необходимость в поддержании оптимальными значений термических напряжений в металле отдельных элементов, лимитирующих скорость пуска и останова. Это требует измерения локальных коэффициентов теплоотдачи между поверхностью элементов оборудования и омывающей средой, температура, плотность и скорость которой меняются в широком диапазоне.

Известные способы определения коэффициента теплоотдачи конвекцией при нестационарном тепловом потоке как для регулярного, так и для иррегулярного режимов [1,2] обладают рядом недостатков: они применимы в условиях постоянных значений коэффициента теплоотдачи и параметров среды: для их осуществления требуется значительное время; не позволяют достаточно просто получить измерительный сигнал, пропорциональный коэффициенту теплоотдачи, а также ввести его в систему автоматического управления.