

ПРОГРЕВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОГО ЛУЧИСТОГО И КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

А. А. ТОРЛОПОВ

(Представлена кафедрой котлостроения и котельных установок)

Характерной особенностью слитков и заготовок из углеродистой стали при их нагреве до высоких температур является наличие структурных превращений в зоне критических температур ($A_{c1} \div A_{c2}$). Во время протекания перлитного превращения в стали повышение температуры в ней прекращается и при дальнейшем нагреве подъем температуры будет замедленным в связи с затратой теплоты на растворение феррита.

Влияние теплового эффекта структурных превращений на динамику нагрева стальных изделий можно приближенно учесть изменением удельной теплоемкости в зоне критических температур.

В работе [1] с учетом экспериментальных данных для углеродистой стали даны обобщенные зависимости теплофизических характеристик λ и C от температуры. Нами эти зависимости были приняты за основу при решении задачи нагрева слитков и заготовок в пламенных печах с постоянной во времени температурой среды.

Задача прогрева стальных изделий в форме неограниченной пластины и цилиндра в условиях лучисто-конвективного теплообмена и зависимости термических коэффициентов от температуры математически формулируется следующим образом:

дифференциальное уравнение теплопроводности

$$C(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial Fo} = \frac{\partial}{\partial X} \left[\Lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial X} \right] + \frac{k}{X} \Lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial X}, \quad (1)$$

где k равно 0 и 1 соответственно для пластины и цилиндра, краевые условия

при $X = 1$

$$\Lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial X} = Sk \left[1 - \theta^4 + \frac{Bi}{Sk} (1 - \theta) \right], \quad (2)$$

при $X = 0$

$$\frac{\partial \theta}{\partial X} = 0, \quad (3)$$

при $Fo = 0$

$$\theta = \theta_0. \quad (4)$$

В указанных условиях решение было получено методом сеток [2] с использованием соотношений, приведенных в работе [3], где показано условие устойчивости и метод проверки погрешности принятой численной схемы расчета.

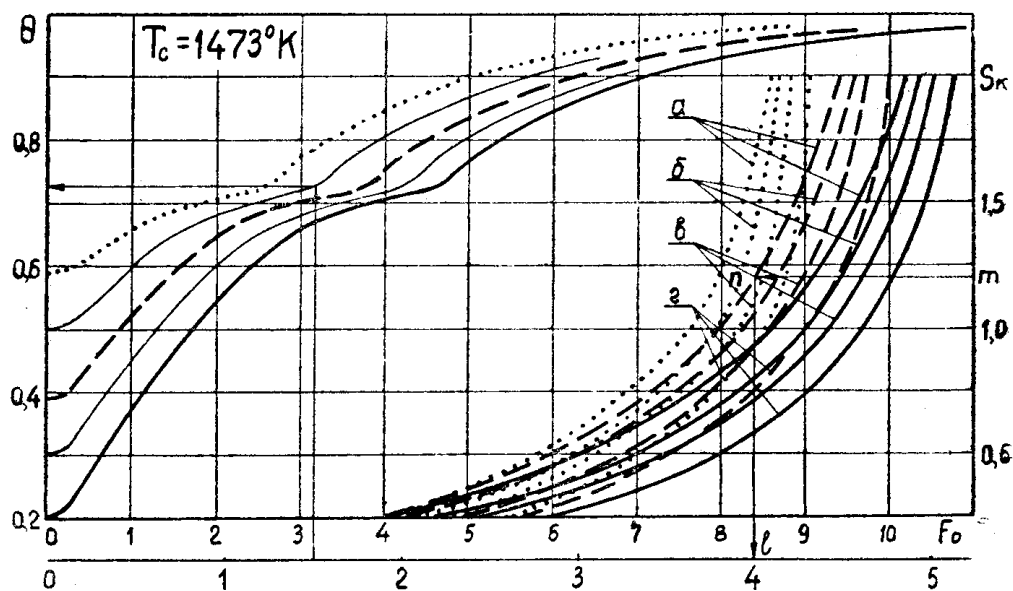


Рис. 1. Зависимость относительной температуры средней плоскости пластины от величины критерия Fo и режимных параметров нагрева

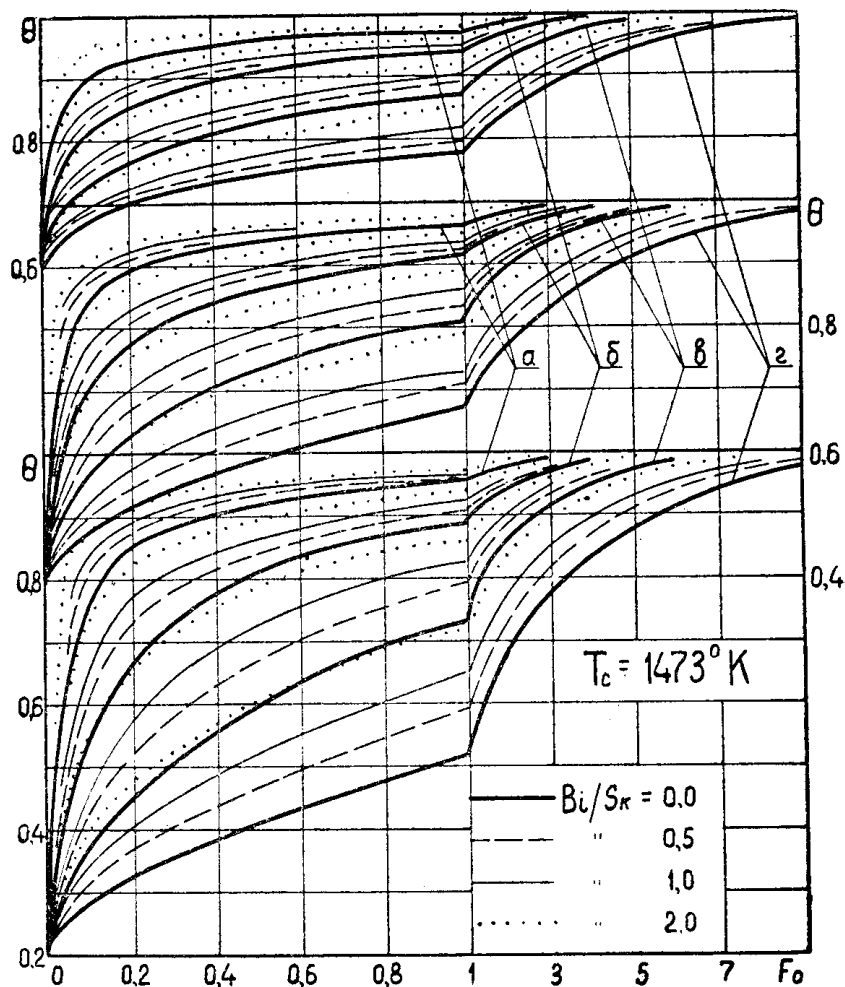


Рис. 2. Зависимость относительной температуры поверхности пластины от величины критерия Fo и режимных параметров нагрева.
 $a - S_{\kappa} = 2, б - 1, в - 0,5, г - 0,25$

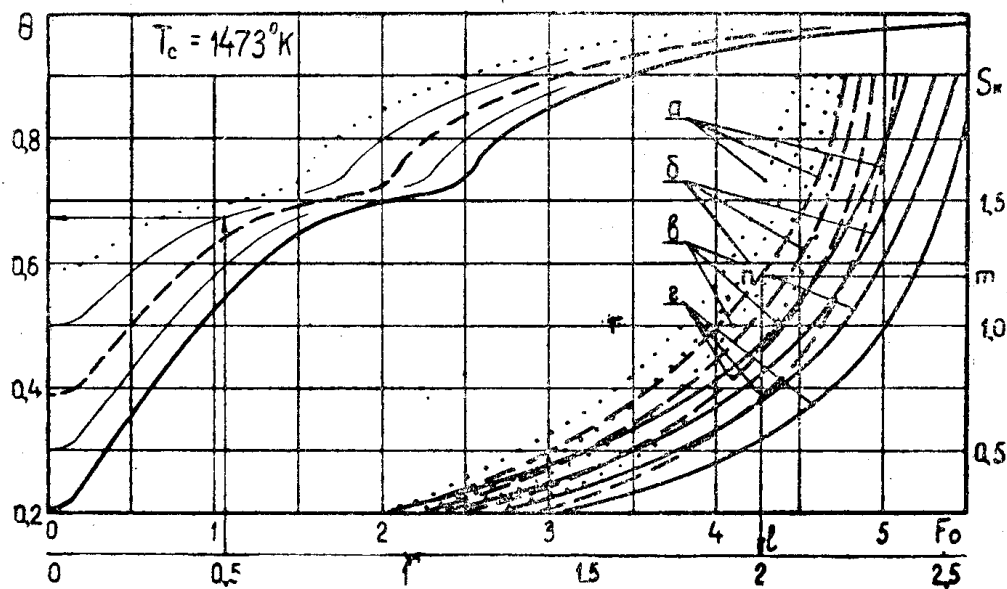


Рис. 3. Зависимость относительной температуры центра цилиндра от величины критерия Fo и режимных параметров нагрева

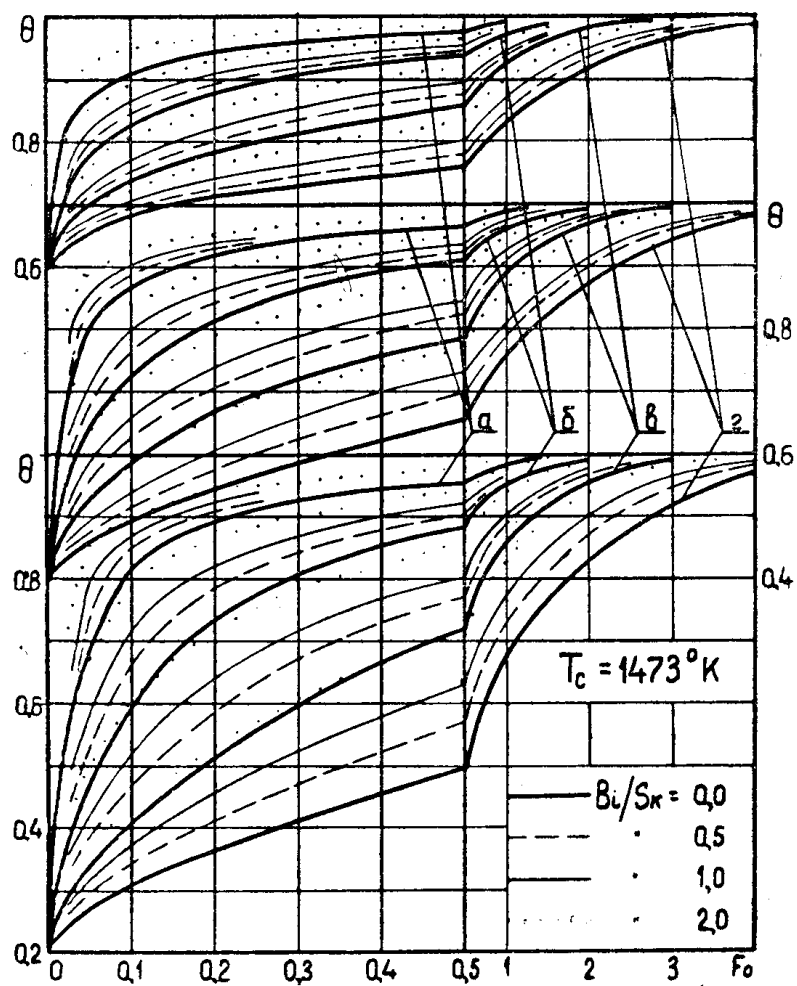


Рис. 4. Зависимость относительной температуры поверхности цилиндра от величины критерия Fo и режимных параметров нагрева. а — $Sk = 2$, б — 1, в — 0.5, г — 0.25

Численные результаты решения системы (1) ÷ (4) получены в широких пределах изменения режимных параметров нагрева с применением электронно-вычислительной машины «Минск-1».

Часть полученного числового материала сведена в графики, представленные на рис. 1, 2, 3, 4.

На рис. 1 и 3 приведены зависимости относительной температуры центра пластины и цилиндра от величины критерия Fo при значении критерия $Sk=0,25$, отношения $Bi/Sk=0$ и различном задании Θ_0 . Для случаев, когда значения критерия Sk и отношение Bi/Sk отличны от указанных выше значений, необходимо использовать кривые, расположенные в правой части графиков. Эти кривые определяют масштаб времени в зависимости от величины критерия Sk и отношения Bi/Sk . Причем для пластины они построены при значении критерия $Fo=4$, а для цилиндра — 2 и имеют одинаковый вид с кривыми зависимости относительной температуры центра изделия от величины критерия Fo , к которым они относятся.

Ключ к графикам показан для случая, когда величина критерия $Sk=1,2$, отношение $Bi/Sk=0,5$, $\Theta_0=0,5$ и значения критерия $Fo=1,5$ для пластины $Fo=0,5$ для цилиндра. По оси ординат откладываем величину критерия Sk (точка m), затем с помощью интерполяции по значениям Bi/Sk и Θ_0 находим точку n , сносим последнюю на ось абсцисс (точка l) и, зная, что масштабные кривые построены только для значения критерия $Fo=4$ и 2 соответственно для пластины и цилиндра, градуируем ось времени в новом масштабе. Далее по величине критерия Fo и Θ_0 находим, как показано стрелками на графиках, значение относительной температуры в центре изделия.

На рис. 2 и 4 приведены зависимости относительной температуры поверхности пластины и цилиндра от величины критерия Fo при различных значениях критерия Sk , отношения Bi/Sk и Θ_0 . Пользование этими графиками не вызывает особых затруднений, если учесть, что для удобства интерполяции три различных (по Θ_0) графика сведены в один.

В качестве сравнения сопоставим расчетные данные с опытными по нагреву кузнечной заготовки ≈ 100 мм из углеродистой стали (0,4% С) в камерной печи при температуре среды 1473°K [4].

Через 6 и 26 мин. по опытными данным температура центра заготовки достигает соответственно 788 и 1413°K , а по расчетным — 795 и 1422°K .

Обозначения:

$$\begin{aligned} T(x, \tau) & \text{— температура, } ^\circ\text{K}; \\ T_c & \text{— температура греющей среды полагается постоянной в процессе нагрева, } ^\circ\text{K}; \\ \Theta &= \frac{T}{T_c} \text{— относительная температура;} \\ Sk &= \frac{\sigma_b T_c^3 R}{\lambda_0} \text{— радиационный критерий Старка;} \\ Bi &= \frac{\alpha R}{\lambda_0} \text{— критерий Био.} \end{aligned}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Кавадеров, Ю. А. Самойлович. ИФЖ, № 1, 1960.
2. И. С. Березин, Н. П. Жидков. Методы вычислений, Физматгиз, 1959.
3. А. А. Торлопов, В. В. Саломатов. Известия ТПИ, т. 150, 1967.
4. В. Н. Соколов. Нагрев стали и печи, Сб. статей, № 19, 1949.