



The technology of chilling and drawing of metal allows to decrease the consumption of fuel by 10–15% and to improve the quality of the heated articles as well.

В. Б. КОВАЛЕВСКИЙ, М. РАДЖУХ, БНТУ

УДК 621.783.231

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ПЕЧИ С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА

В последнее время возрос интерес к экспериментальным и теоретическим разработкам по изучению теплотехнических аспектов работы закалочно-отпускных агрегатов машиностроительных производств. Весьма актуальной стала задача определения оптимальных условий термообработки металла в закалочно-отпускных устройствах кузнечного производства машиностроительных предприятий с целью управления формированием его структуры и свойств, а также снижения топливопотребления. Решение проблемы оптимизации основано на тщательном изучении процессов, происходящих при закалке и отпуске изделий, и математическом моделировании их с помощью ЭВМ. Цель оптимизации в этом случае заключается в соблюдении минимальности некоторых целевых функционалов, которые зависят от параметров управления (например, расхода природного газа, подаваемого на горелочные устройства).

Цель настоящей работы – разработка новой технологии закалки различного вида изделий кузнечного цеха Минского автомобильного завода, проведенная с применением методов магистральной оптимизации, которые хорошо себя зарекомендовали при решении проблем, связанных с энергосбережением в нагревательных устройствах прокатного производства.

Согласно [1], математическая модель процесса нагрева металла посредством радиации и конвекции основывалась на двумерном уравнении теплопроводности с граничными и начальными условиями:

$$\rho C(T) \frac{dT}{dt} = \frac{d}{dx} \left[\lambda(T) \frac{dT}{dx} \right] + \frac{d}{dy} \left[\lambda(T) \frac{dT}{dy} \right], \quad (1)$$

$$0 \leq x \leq R_1, \quad 0 \leq y \leq R_2, \quad 0 < t \leq t_k,$$

$$\lambda(T) \frac{dT(R_1, y, t)}{dx} = \alpha(T_{\text{пч}}(t) - T(R_1, y, t)) + \sigma(T_{\text{пч}}^4(t) - T^4(R_1, y, t)), \quad (2)$$

$$\frac{dT(0, y, t)}{dx} = 0,$$

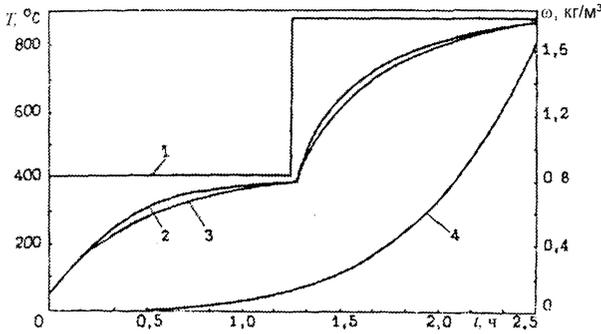
$$\lambda(T) \frac{dT(x, R_2, t)}{dy} = \alpha(T_{\text{пч}}(t) - T(x, R_2, t)) + \sigma(T_{\text{пч}}^4(t) - T^4(x, R_2, t)), \quad (3)$$

$$\frac{dT(x, 0, t)}{dy} = 0,$$

$$T(x, y, 0) = T_0, \quad (4)$$

где t – текущее время, с; t_k – время окончания процесса нагрева, с; R_1, R_2 – половина длины и ширины узкой грани призмы, м; x, y – текущие координаты узкой грани призмы, отсчитываемые от центра, м; $T_{\text{пч}}(t)$ – температура печи в момент времени t , °С; α – коэффициент теплообмена конвекцией, Вт/(м²·°С); σ – коэффициент теплообмена радиацией, Вт/(м²·°С⁴); $\lambda(T)$ – теплопроводность, Дж/(м·с·°С); $C(T)$ – теплоемкость, Дж/(кг·°С); ρ – плотность материала, кг/м³; T_0 – начальное, равномерное распределение температуры в призме, °С; $T(x, y, t)$ – температура в точке (x, y) в момент времени t , °С.

Доказано, что режимы, оптимальные по окислению, являются также оптимальными по безуглероживанию и рациональными по топливоиспользованию [2]. Поэтому оптимизацию технологии нагрева проводили на основе асимптотической магистральной оптимизации по критерию окисления стальных заготовок:



Рациональный процесс нагрева заготовок в закалочной печи: 1 – температура печи, °С; 2 – температура поверхности заготовки, °С; 3 – температура центра заготовки, °С; 4 – толщина окалины, кг/м³

$$\omega(t_k) = \int_0^{t_k} \frac{\kappa}{T(R_1, R_2, t)} \exp\left\{ \frac{-\beta}{T(R_1, R_2, t)} \right\} dt \rightarrow T_{\min} \leq T_{\text{пч}}(t) \leq T_{\max}, \quad (5)$$

где T_{\max} , T_{\min} – максимальная и минимальная температура печи, определяемые из технологических соображений, °С; κ , β – положительные постоянные, характеризующие величину роста окалины; $\omega(t_k)$ – величина окалины, кг/м³.

Так как в конце нагрева заготовка должна иметь распределение температуры по сечению, как можно ближе к заданному равномерному, имеем ограничение

$$\max |T(x, y, t_k) - T_k| \leq \varepsilon, \quad (6)$$

$$0 \leq x \leq R_1, \\ 0 \leq y \leq R_2$$

где $\varepsilon \geq 0$ – некоторая постоянная, °С; T_k – желаемое распределение температуры в призме, °С.

Расход топлива в зависимости от динамики изменения температуры печи определяется по формуле

$$\frac{dT_{\text{пч}}(t)}{dt} = A_1 B(t) - A_2 T_{\text{пч}}(t) - A_3 T_{\text{пч}}^4(t) - A_4 \left(\int_0^{R_2} [\alpha(T_{\text{пч}}(t) - T(R_1, y, t)) + \sigma(T_{\text{пч}}^4(t) - T^4(R_1, y, t))] dy + \int_0^{R_1} [\alpha(T_{\text{пч}}(t) - T(x, R_2, t)) + \sigma(T_{\text{пч}}^4(t) - T^4(x, R_2, t))] dx \right), \quad (7)$$

где $B(t)$ – расход газа в момент времени t , м³/с; A_1 , A_2 , A_3 , A_4 – некоторые постоянные.

По данным промышленного эксперимента, в кузнечном цеху Минского автомобильного завода была предложена новая ресурсосберегающая технология нагрева изделий в закалочной печи (см. рисунок).

Вывод

Предложенная технология закалки и отпуска металла позволяет снизить расход условного топлива на 10–15%, а также улучшить качество нагреваемых изделий.

Литература

1. Теплотехнология металлургических мини-заводов / В. И. Тимошпольский, А. Б. Стеблов, В. Б. Ковалевский и др. Мн.: Наука и техника, 1992.
2. Управление температурным режимом нагрева металла по минимуму окисления / В. Б. Ковалевский, Р. Б. Вайс, И. А. Трусова и др. // Энергетика... (Изв. высш. учеб. завед. и энерг. объедин. СНГ). 1993. № 5–6. С. 125–128.