

基本書籍

34710

鋼材加熱

Г. П. 伏爾佐夫著

何月梅譯

重工業出版社

Г. П. ИВАНЦОВ

НАГРЕВ МЕТАЛЛА
(ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА)

ПОД РЕДАКЦИЕЙ И С ДОБАВЛЕНИЯМИ
Д. В. БУДРИНА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Свердловск 1948 *Москва*

有 作
著 權

譯 者	何 用	梅
校 閱	覃 修	謨
編 校	侯 毅	箴
出 版	重 工 業 出 版 社	
印 行	鞍 鋼 編 輯 委 員 會	
經 售	中 國 圖 書 發 行 公 司	
印 刷	旅 大 人 民 印 刷 第 二 廠	

定價每册 10,000元
1953年 11月出版
0001—6,000 册

序 言

作者在設計機構（國立黑色冶金爐體及其附屬設備設計院）中工作了好多年，應該來解答設計人員在進行築爐的計算和設計中所發生的築爐熱工學方面的許多問題，其中包括鋼材加熱方面的問題。

蘇聯關於鋼材加熱的科學，於三十年代初期，在第一個五年計劃新建築工程中對加熱爐進行掌握時所發生的實際需求之影響下，開始了特別迅速的發展。斯達漢諾夫運動是使它繼續發展的最强有力的推動力。

在書末所引用的按年月次序編製的書刊目錄，確鑿地證明了蘇聯對鋼材加熱的研究和斯達漢諾夫運動對蘇聯關於鋼材加熱科學發展的影響。

我很樂意指出：在戰前十五年中所發表的蘇聯著作之數量，大大超過了在同一時期內所有國外印刷物中所發表的著作之數量。

尤其應當提到的，是“俄羅斯冶金學會雜誌”1926年第二期（第184—198面）裡所發表的B. B. 斯塔爾克教授的“馬福爐內之加熱現象”這一著作。

這一著作在國外類似著作出現的很久以前就發表了，它首次指出：輻射是爐內傳熱的主要方式。

這一原理違反了當時認為對流傳熱是爐內傳熱唯一方式的佔優勢的觀念。由於這一原因，同時由於當時很多冶金人員不能瞭解用數學方式表達問題之高度水平的結果，致使在提出和解決問題的科學精確性方面可以成為模範的B. B. 斯塔爾克教授的典型著作，竟被忽視並極不應該地被遺忘了。

在下面所說明的薄型鋼材加熱理論，是根據B. B. 斯塔爾克教授所引申出的方程式出發的，並且實質上是對此方程式的全面分析與依

據此方程式對許多實際問題的解答。

對被實踐所推動發展的鋼材加熱諸理論問題的研究指明：熱之分析理論的典型方法遠不祇此；還有一些典型作家的著作被遺忘了。許多實際問題，已通過伏列微分方程式（Дифференциальное уравнение Фурье）的極其簡易的求解而得到了答案。

本著作企圖綜合所得出的解答，並試行對其作有根據有系統的說明。

本書的優點，在於它提供了創造性的材料（作者避免說明那些已發表過的衆所週知的認識和方法）。書中沒有涉及到那些未被作者提出具有實際意義之新解答的許多問題。這些問題，包括為加熱時之熱處理強度所規定着的最高加熱速度（И. Ю. 台茨教授在這方面達到了顯著的成就），氧化鐵皮對鋼材加熱的影響，隨溫度改變而引起之鋼材熱學物理性質變化的影響等問題。因此，本書不應被看作是鋼材加熱理論的全部教程。

本書包括作者在 1935—1944 年這一時期內研究出的材料。本書的主要原理，不祇一次地被用作報告的題材，並為築爐熱工方面工作的許多同志所知曉。

作者請求通知他（地址：莫斯科，5 區，技術街，12 號，中央黑色冶金科學研究院）所有關於對本書實質上以及敘述上的意見，發表的這些材料之實際應用結果以及蘇聯書刊目錄中可能遺漏之處，並請寄去關於鋼材加熱問題方面之印刷物樣本，特別是機關出版局所發表的。

最後，作者有義務對 A. B. 布得林所完成之巨大的校閱工作和具有顯著底理論與實際價值的一些補充表示感謝。

Г. И. 依萬佐夫

目 錄

序言

一、基本概念	1
1. 「爐溫」之概念	1
2. 對「薄型」與「重型」鋼材概念之規定	3
3. 符號暨幾種數值間關係之確定	3
二、薄型鋼材加熱理論	8
1. 薄型鋼材加熱之若干特徵	8
2. 恆溫爐內加熱的基本方程式	10
3. 理論關係式與實驗資料之對照	19
4. 應用對流公式按平均數值 α 進行計算之可能性	24
5. 平放於爐底上的圓柱形鋼坯之加熱計算	27
6. 平放於爐底上，彼此間留有間隔的長方鋼坯之加熱計算	29
7. 加熱薄型鋼材時之單位爐底面積產量	33
8. 變溫爐內薄型鋼材之加熱	35
9. 薄型鋼材在空氣中之冷卻	36

附錄

I. 鋼材輻射加熱計算用之函數 ψ 及 Ψ	45
II. 在鋼材分開所形成的間隙中之輻射熱交換	49
III. 當 $t_1 = \text{const}$, $t_2 = \partial \tau$ 及 $q_2 = \text{const}$ 時，鋼板，圓柱形鋼材及方柱形鋼材透熱之方程式	52
IV. 淬火用鋼材加熱之計算	61
V. 當 $t_{\text{max}} = 1300^\circ = \text{const}$ 時 $\phi 600$ 的鋼錠透熱之計算	65
VI. 鋼板及長圓柱形鋼材表裡進行均溫之方程式	69
VII. 與爐內燃燒所生成氣流逆向運動的鋼材之加熱計算	75

- VIII. 加熱與冷却計算用的參考圖表，表格及公式.....81
- IX. 當 $\alpha = \text{const}$ 時，恆溫環境中鋼板（表 1—19）及
圓柱形鋼材（表 20—35）加熱與冷却計算用之表格.....99

一、基本 概 念

1. “爐溫”之概念

向在爐內被加熱底鋼材進行傳熱之過程是非常複雜的。鋼材由下述各方面受到熱量：

- (1) 火焰的熱輻射；
- (2) 燃燒生成物的熱輻射；
- (3) 爐壁和爐頂的熱輻射；
- (4) 未被鋼材所佔據的爐底之熱輻射；
- (5) 與爐底的直接接觸之熱傳導。

所有各種的熱輻射，是高溫爐內傳熱的主要方式。對流傳熱，特別是高溫爐內的對流傳熱，是多半可以略去不計的。

未被鋼材所佔據的爐底之熱輻射，以及直接由爐底傳出的熱量，在有些情況下是起着作用的，也是應加估計的。

本書的主要研究對象，是爐內鋼材的加熱和透熱過程，而不是爐膛內的熱交換現象。因此，在進行由爐內向鋼材表面所作熱傳遞之計算時，應由所列舉的，規定着此種熱傳遞的諸因素裡面，分別出**主要的、決定性的因素**。

分析一下決定着所列舉的諸種傳熱方式之規律性。

鋼材通過爐壁、爐底和爐頂熱輻射的方式而受到之熱流，是可依據斯捷凡·波爾茨門定律 (Закон Стефана-Больцмана) 來推求的，也就是說，這種熱流與進行熱交換諸表面的絕對溫度的四次方之差成正比。由熾熱的火焰向被加熱鋼材所作的輻射傳熱，也就大約是遵循着此定律而進行的。

鋼材與氣體所作的熱交換，遵循着與此略為不同的法則而進行，

這種法則可由下面的關係式表示出來：

$$q = C_{\kappa} \left[\epsilon_r \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 - \epsilon_{\kappa} \left(\frac{T_{\kappa}}{100} \right)^4 \right];$$

此處 ϵ_r 和 ϵ_{κ} 表示在一定的氣體溫度和鋼材溫度的情況下輻射氣體的黑度，且 $\epsilon_r \neq \epsilon_{\kappa}$ 。但通常 ϵ_r 和 ϵ_{κ} 彼此很接近，同時該二數的平均數可以移到括弧外邊來。

這樣一來，不論是氣體輻射還是火焰輻射，均可略為勉強地歸結到斯捷凡·波爾茨門定律上來。

那末，可以得出結論：**鋼材通過輻射的方式，可由溫度不相等的許多熱源（爐壁、爐頂、爐底、氣體、火炬）上受到熱量。**

可以證明，所有這些熱源，可由帶有一定平均溫度的一種熱源來代替，這種平均溫度，我們叫作“爐溫”，並將以 $t_{noz}^{\circ}C$ 或 $T_{noz}^{\circ}K$ 來表示。這種“爐溫”等於放在逼近鋼材處的熱電偶上所標示出的溫度，此熱電偶和鋼材之間用隔熱板隔住了，並且它只是“面對着”爐壁和爐底。很顯然，它將與火焰，氣體，爐壁和爐頂處在熱量均衡狀態中。因此，假如該爐用一種馬福爐來代替，而此馬福爐之爐壁表面溫度用人工保持着等於此熱電偶上之溫度的話，那末，顯然地，鋼材所受到熱流的大小將不會改變。

因而，爐子的溫度狀況將由“爐溫” t_{noz} 的數值來決定。這種“爐溫”，可能在全部加熱過程的時期內是始終不變的，也可能是按照某種法則變化着的。不論是在連續加熱爐內，或是在間斷加熱爐內都會是這樣。

從鋼材加熱和透熱的觀點上看來，兩種加熱方式——一種是鋼材擺在爐底上不動，而爐溫隨着時間變化着；另一種是鋼材沿着一種分為幾個加熱段的爐子推進，而各個加熱段的溫度互不相同，但此溫度在時間過程中不發生變化——是完全沒有什麼區別的。

因此，在下面我們將區別開溫度固定不變底爐子和按時間或按爐膛的長度來改變溫度底爐子。

2. 對“薄型”與“重型”鋼材概念之規定

高的導熱率是金屬底特徵，在某些情況下，此種高導熱率使得沿着被加熱鋼材厚度上發生的溫度落差如此的微小，以至於在分析加熱過程時可以略去不計。加熱時富有此種條件的鋼材就具有薄型鋼材的名稱。有一種鋼材，在作加熱計算中，其內部溫度落差不能被略去不計，此種鋼材將被稱為重型鋼材。

某種鋼材之被列入“薄型”鋼材或“重型”鋼材，不僅為其尺寸和導熱率所規定，而且也由其加熱強度來決定：加熱很慢的，尺寸相當大的鋼材，在加熱中有時也像“薄型”鋼材一樣，或者反之。

薄型鋼材和重型鋼材的界限，在下面作重型鋼材加熱分析時將加以確定。

這樣一來，當一種鋼材的加熱速度，實際上不區別於由導熱率為無窮大 ($\lambda = \infty$) 的材料製成的鋼材的加熱速度時，這種鋼材將被稱為薄型鋼材。加熱時此種鋼材內部的溫度落差總是等於零。

3. 符號暨幾種數值間關係之確定

我們將採用下列符號：

L —鋼材的主要直線尺寸，米；

S —鋼板的厚度或厚度之半（前一種是在一面加熱的情況下，後一種是在兩面加熱的情況下）；當由各方面平均加熱時，正方斷面角柱體的厚度之半，正立方體側面之半或圓柱形鋼材兩底間距離之半，米；

S_x, S_y —長方斷面角柱體各面之半，米；

S_x, S_y, S_z —長方六面體各面之半，米；

K, D —圓柱體（或球體）的半徑，直徑，米；

τ —時間，加熱延續時間，小時；

λ —導熱係數，千卡/平方米·小時·°C；

α —傳熱係數，千卡/平方米·小時·°C；

$h = \frac{\alpha}{\lambda}$ —傳熱比較係數， $\frac{1}{\text{米}}$ ；

θ ——溫度昇高速度， $^{\circ}C$ /小時；

C ——輻射係數，千卡/平方米·小時· $^{\circ}C^4$ ；

V ——鋼材體積，立方米；

F ——鋼材受熱之表面，平方米；（該表面的確定方法在每一個別場合下附帶加以說明。如該表面上無凹面且自各方面加熱時，它將等於整個表面。）

G ——鋼材重量，公斤；

Q ——熱量，千卡；

q ——熱流，千卡/平方米·小時；

r ——鋼材比重，公斤/立方米；

n ——一平方米爐底上所擺下的鋼材數量；

$v = nV$ ——一平方米爐底上所擺下鋼材的體積，立方米/平方米；

$f = nF$ ——一平方米爐底上所擺下鋼材的受熱表面（鋼材的單位受熱表面），平方米/平方米；

$g = nG$ ——一平方米爐底上所擺下鋼材的重量（爐底單位重載），公斤/平方米；

p ——單位爐底面積產量，公斤/平方米·小時；

$P = 0.024p = \frac{P}{41.6}$ ——單位爐底面積產量，噸/平方米·一晝夜；

$w = \frac{L}{\tau}$ ——鋼材“加熱速度”，等於用加熱時間除鋼材主要直線尺寸所得之商，米/小時；

z ——“單位加熱延續時間”，等於加熱時間（以每分鐘計）與鋼材橫尺寸（以樞計）的比例，分鐘/樞；

$t_{\text{爐}}$ ——爐溫， $^{\circ}C$ ；

t' ——裝入爐內時鋼材的溫度， $^{\circ}C$ ；

t'' ——由爐內卸出時鋼材的溫度， $^{\circ}C$ ；

c ——鋼材在由 t' 至 t'' 的範圍內的平均熱容量，千卡/公斤· $^{\circ}C$ ；

$i' = ct'$ ——當溫度為 t' 時鋼材之熱含量，千卡/公斤；

$i = ct''$ ——當溫度為 t'' 時鋼材之熱含量，千卡/公斤。

在下面將會遇見鋼材體積和受熱表面的比例 $\frac{V}{F}$ 。這個式子的計算單位為米，並與鋼材的主要直線尺寸成正比。這樣，如應用於由一方面加熱的厚度為 S 的鋼板時，則為：

$$\frac{V}{F} = \frac{FS}{F} = S.$$

如由兩方面加熱時，該比例式將等於鋼板厚度之半。

在一般情況下：

$$\frac{V}{F} = \beta L \text{ (米)} \quad (1)$$

如以一平方米爐底上所擺下鋼材的數量 n 來除等號左方的分子和分母的話，則可得出該等式的另一種形式：

$$\frac{v}{f} = \beta L \text{ (米)} \quad (1')$$

經常碰見的一些情況裡所用之實數 β 將在下面指出。

單位爐底面積產量和加熱時間的關係不需要特殊地加以說明：

$$p = \frac{g}{\tau} \text{ 公斤/} \text{m}^2 \cdot \text{小時} \quad (2)$$

(此處 τ —加熱時間)。假如單位爐底面積產量 g 是按照鋼材所實際佔據的爐底平面計算的話，那末，我們得出的將是單位“有效”爐底面積的產量，而假如是按整個爐底計算的話，那末，將得到相應地少一些的數量，這當然應當預先加以說明。

現在來規定一下單位爐底面積產量和“透熱速度”的關係。為此，須將由方程式 $w = \frac{L}{\tau}$ 中所求出的時間數值代入方程式 (2)：

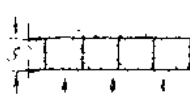

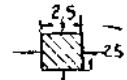
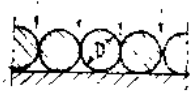


$$p = \frac{gw}{L}.$$

用 $v\tau$ 代 g ，並用 $\frac{v}{\beta f}$ 代 L ，可求出：

$$p = \frac{v\tau w \beta f}{v} = \beta \tau w f = \beta \tau \frac{L}{\tau} f. \quad (3)$$

這樣一來，在其他同等的條件下，單位爐底面積產量與“透熱速度”成正比。

當鋼材用若干種方式擺在爐底上時，其係數 β 、表 1
單位受熱表面 f 與單位爐底面積產量 p 之表

№	位置略圖	F	$\frac{V}{F}$	β	f	單位爐底面積 產量 p 公斤/ D^2 小時
1	 (一面加熱)	鋼材在爐底 上之投影面 積	$\frac{FS}{F} = S$	1	1.0	$p = \gamma \frac{S}{\tau}$ $= \tau \omega$ (4)
2	 (兩面加熱)	鋼材在爐底 上之投影面積 的兩倍	$\frac{2FS}{2F} = S$	1	2.0	$p = \gamma \frac{2S}{\tau}$ $= \tau \omega$ (5)
3	 (底面為 2S 之正方形斷面 角柱體的四面加熱)	整個表面	$\frac{4S^2}{4S} = S$	$\frac{1}{4}$	—	—
4	 (一面加熱)	鋼材在爐底 上之投影面 積	$\frac{\frac{1}{4} \pi D^2}{D} = \frac{\pi D}{4}$	$\frac{\pi}{4}$	1.0	$p = \frac{\pi}{4} \frac{\vartheta \gamma}{\tau}$ $= \frac{\pi}{4} \gamma \omega$ (6)
5	 (兩面加熱)	鋼材在爐底 上投影面積 之兩倍	$\frac{\frac{1}{4} \pi D^2}{2D} = \frac{\pi D}{8}$	$\frac{\pi}{8}$	2.0	—
6	 (全面加熱)	長圓柱形鋼 材的全部側 表面	$\frac{\frac{1}{4} \pi D^2}{\pi D} = \frac{1}{4} D$	$\frac{1}{4}$	—	—

在有的書中也採用了以分鐘/噸為單位的“單位加熱延續時間” Z^1 的概念。不難確定該數值和透熱速度的關係。其關係如下：

$$wZ = 0.6. \quad (3')$$

表1內將幾個數值($F, \frac{V}{F}, \beta, f$)的實數及公式(3)附加在關於爐底上鋼材位置的若干常見現象後面。

為說明上面所援引公式的應用起見，我們來分析一下幾個例子。

例 1. 断面 200×200 耗的初軋鋼坯在軋鋼用連續加熱爐內於三小時的過程中由 $0^\circ C$ 加熱到 $1200^\circ C$ 。試求出單位爐底面積產量 p 和透熱速度 w 。已知： $\tau = 3.0$ ； $S = 0.2$ ；鋼的 $\gamma = 7800$ 。由此可求出：

$$w = \frac{S}{\tau} = \frac{0.2}{3.0} = 0.067 \text{ 米/小時} = 67 \text{ 耗/小時};$$

$$p = \gamma \frac{S}{\tau} = 7800 \frac{0.2}{3.0} = 520 \text{ 公斤/平方米} \cdot \text{小時}。$$

例 2. 圓型鋼坯的加熱延續時間，為鋼坯直徑之每一厘米須 7 分鐘。假定鋼材間毫無間隙地擺在爐底上，試求出與此種透熱速度相適應的單位爐底面積產量。

利用方程式(3')可求出透熱速度

$$w = \frac{0.6}{z} = \frac{0.6}{7} = 0.086 \text{ 米/小時},$$

據此，再利用方程式(6)即可求出：

$$p = \frac{\pi}{4} w \gamma = \frac{\pi}{4} \cdot 0.086 \cdot 7800 = 525 \text{ 公斤/平方米} \cdot \text{小時}。$$

¹ 可參看 И. Ю. 台茨 (Таїт) 的著作等。

二、薄型鋼材加熱理論

1. 薄型鋼材加熱之若干特徵

預先來說明一下薄型鋼材的加熱時間與其尺寸之關係。

在一定單位時間 $d\tau$ 之內，鋼材由爐內取得下述的熱量：

$$dQ = Fq d\tau.$$

用此種熱量將鋼材溫度提高到 dt° 。

$$dQ = Gcdt.$$

使此二方程式相等，即可確定鋼材溫度提高的速度 ($^\circ C/\text{小時}$)：

$$\vartheta = \frac{dt}{d\tau} = \frac{qF}{Gc} = \frac{q}{c\gamma} \cdot \frac{F}{V} = \frac{q}{c\gamma} \cdot \frac{1}{\beta L}. \quad (7)$$

在此方程式內，熱流 q 的數值被爐溫 t_{neq} 與鋼材表面溫度（此種溫度與物體所有其餘各點之溫度相等）所決定。

現在來分析下一個“理想的”間斷加熱爐的例子，在該爐內的 $t_{\text{neq}} = \text{const.}$

假定在一種情況下，於爐內加熱尺寸很小的薄型鋼材，在另一種情況下，也是加熱薄型鋼材，但尺寸是較大的。鋼材及其在爐底上的位置，用幾何學的觀點來看是相同的，因而，其係數 β 相等。那末，很顯然，由於鋼材的溫度相等，則將得出相等之熱流 q ，而其溫度昇高的速度，正像由方程式 (7) 所得出的一樣，將僅僅是被鋼材的直線尺寸所決定。如果由加熱速度轉到加熱時間上的話，我們就會得出一個結論：在其他同等條件下，在爐底上幾何位置相同的，幾何學上相似之薄型鋼材的加熱時間與其直線尺寸成正比例。

這個特點早就在實踐中被發現了。它提出了“透熱速度”的新概念，此種透熱速度在上述條件下是一個常數 $w = \frac{L}{\tau} = \text{const.}$

讓我們來說明一下爐子產量（單位爐底面積產量）和被加熱底薄型鋼材的尺寸之關係。

例如，在彼此相同的條件下，在一種情況下，是在爐底上加熱 $\phi 10$ 耗的鋼棒；在另一種情況下，是加熱 $\phi 20$ 耗的鋼棒，二者在爐底上的幾何位置相同（參看圖 1）。試求出在該兩種情況下的單位爐底面積產量。

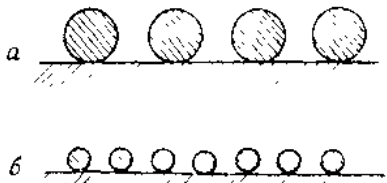


圖 1. 爐底上之圓柱形鋼棒

依方程式 (3) 可得出該問題的答案。列入方程式等號右方的數值 β, γ ，在此兩種情況下將是相等的。像上面所指出的一樣，數值 $\frac{L}{\tau}$ 也將是相等的（這是由於薄型鋼材的加熱時間與其直線尺寸成正比）。數值 $f \text{ m}^2/\text{m}^2$ —— 一平方米爐底上所擺下之鋼材的受熱表面也將是同樣的。

這樣一來，列入方程式 (3) 等號右方的所有數值—— $\beta, \gamma, \frac{L}{\tau}, f$ —— 在圖 1 所表示的兩種情況下是相同的。由此得出結論：在其他彼此相同的情況下，當對幾何位置相同地擺在爐上的幾何學上相似之薄型鋼材進行加熱時，爐子產量（單位爐底面積產量）不是以薄型鋼材的絕對尺寸為轉移，而只是決定於供熱制度。

為了更清楚地來證明這種有些難以置信的結論之正確性，準備把一些薄型鋼材的加熱指標拿來比較一下：這些加熱指標中的某一類比另一類大一倍¹。

	鋼材 a	鋼材 \bar{a}
鋼材的直線尺寸.....	L	$2L$
一塊鋼材的表面.....	F	$4F$
一塊鋼材的體積.....	V	$8V$
一塊鋼材的重量.....	G	$8G$

¹ 這與鋼材的一切尺寸有關，假如鋼材為鋼棒的話，就特別與其長度有關。

一平方米爐底上鋼材的數量……	n	$\frac{1}{4}n$
一平方米爐底上所擺		
下鋼材的總表面……	$nF=f$	$\frac{1}{4}n \cdot 4F=f$
一平方米爐底上所擺		
下鋼材的總重量……	$nG=g$	$\frac{1}{4} \cdot 8G=2g$
加熱時間……	τ	2τ
單位爐底面積產量……	$\frac{g}{\tau} = p$	$\frac{2g}{2\tau} = p$

上述的原理很好地被經驗材料所證明了。

M. C. 索柯羅夫和 B. M. 米黑爾松基於自己的經驗，在確定鍛造用圓型鋼坯加熱時間的問題上，計算出了單位爐底面積產量和鋼坯直徑的關係，並以圖表將其結果表示出來（詳見其著作中，141 面，圖 4）。

顯然，在 $D=25\sim 60$ 耗的限度中，單位爐底面積產量是沒有變化的，而往後才開始逐漸地降低。當 $D=100$ 耗時，它為起初數值之 75%，而當 $D=170$ 耗時，則為 67%。正像在下面（圖 41.）將指出的一樣，在鍛造加熱爐內加熱的鋼材，如恰巧在所指定的限度內（在尺寸 $R=25\sim 35$ 耗以下）時可認定為薄型鋼材。

現在要轉到加熱方式對加熱速度與產量之影響的具體分析上去。

2. 恒溫爐內加熱的基本方程式

正像上面所已經指出的一樣，我們將把爐內向鋼材進行傳熱的過程，看作是按照斯捷凡·波爾茨門定律進行的，由熱至某一定溫度 $t_{\text{нст}}^{\circ}\text{C}$ 的爐內向溫度為可變的 $t^{\circ}\text{C}$ 之鋼材表面傳熱的現象。各有關的絕對溫度將由 $T_{\text{нст}}^{\circ}\text{K}$ 和 $T^{\circ}\text{K}$ 來表示。

在恒溫爐內加熱之情況下，薄型鋼材之加熱方程式首次為 B. B. 斯塔爾克教授所發現。

B. B. 斯塔爾克教授是從對各個傳熱種類的分析上開始其工作的，鋼材正是由於這種種傳熱的總效用的結果而在爐內被加熱了。他

仿倣 O. A. 黑伏爾松教授，列舉出下述各種傳熱現象：

- 1) 由於被加熱物體與其週圍固體（爐壁）進行輻射熱交換的結果而發生的傳熱現象；
- 2) 由於向物體表面輸熱的氣體流動之結果而發生的傳熱現象；
- 3) 由於氣體之熱傳導的結果而發生的傳熱現象；
- 4) 通過支撐被加熱物體的柱架而發生的傳熱現象。

在現時，第二種和第三種傳熱現象由對流傳熱的概念統一起來了。

B. B. 斯塔爾克教授未曾提到燃燒生成物內所含有的三原子氣體（ CO_2 ， SO_2 和 H_2O ）本身的輻射現象。這種傳熱現象在當時還是很少為人們所知道的。他指出了：在加熱過程中物體溫度的概念失去了意義，因為物體內發生着各個不均勻的溫度範圍。他並指出：只有當物體的導熱率是無窮大或者它的尺寸是無窮小的時候，才可能談得上物體的統一溫度。這樣一來，B. B. 斯塔爾克教授完全明確地規定了“薄型”鋼材的概念。

當 B. B. 斯塔爾克教授發現露燄爐內加熱現象的複雜性時，他指出：當在馬福爐內加熱時，加熱現象簡化得多了，因為在此種爐內鋼材不和作為露燄爐內之輸熱物的燃燒生成物接觸。假如將物體懸於馬福爐內的話，那末傳熱現象將僅能靠輻射熱交換的方式來進行，因為由於氣體熱傳導的結果而發生之傳熱現象，可以作為一個極小的數值而略去不計。

當 B. B. 斯塔爾克教授得出這個結論時，他寫出了薄型鋼材加熱的微分方程式，並求出其積分，以得出該方程式的答案。B. B. 斯塔爾克教授並將此答案與實驗材料作了對照，這種實驗材料是在馬福爐內加熱一塊重 12.5 克的鋼材時得出的，這塊鋼材掛在熱電偶上，而熱電偶的熱端頭又擺在被加熱試品的內部。實驗結果很好地與理論的結論相符合。

其次，B. B. 斯塔爾克教授引伸出了當熱之傳遞正比於週圍環境溫度與被加熱鋼材溫度一次方之差時，亦即在對流傳熱的優越條件下之薄型鋼材加熱方程式。在這種情況下加熱時間不以爐溫為轉移，這