

21

大斷面製件熱處理的 快速加熱法



重工業出版社

5

大斷面製件熱處理的快速加熱法

Скоростной нагрев при термической обработке изделий крупных сечений

原著者: В. М. Дегтярев

原出版者: Машгиз • (Київ 1953 Москва)

魏 莊 譯

重工業出版社(北京東交民巷26號)出版 新華書店發行

25開本 • 共38面 • 定價3,000元

初版(1—5,000冊)一九五四年四月北京市印刷一廠印

目 次

序言.....	(1)
大型製件淬火前逐漸加熱的曲線.....	(3)
大型製件淬火前快速加熱的曲線.....	(6)
快速加熱的溫度曲線.....	(12)
鋼胚在空冷（靜止的空氣）、油冷及水冷時所產生的 溫度差·· ..	(20)
採用等溫退火及淬火前快速加熱法的冷軋鋼軋熱處理.....	(29)
冷軋鋼軋的淬火.....	(33)

序 言

俄國的冶金學家 Д.К. 契爾諾夫教授發現了鋼的各種變態溫度（被稱為契爾諾夫變態點），此種發現奠定了關於金屬的科學基礎並使各種熱處理曲線有了科學的根據。

繼之，俄國學者及工廠的工作人員的工作乃指向創造並製定各種金屬及合金熱處理和化學熱處理方面詳細而先進的技術操作過程。為消除強大的內應力，因而消除在製件上產生裂紋的可能性，製定了各種製件（特別是大斷面及形狀複雜的製件）加熱用曲線，這些加熱曲線是憑藉於製件在火焰爐內進行逐漸而長時間加熱的原則上。

溫度曲線及鋼之加熱時間對奧斯汀體的形成過程和奧斯汀體晶粒的增長是有着決定性意義的，同時溫度曲線及鋼之加熱時間，對淬火後或退火後鋼組織的形成亦有影響。

因為時間過長（經常以數十小時計），而花費在大斷面製件熱處理操作過程中的勞動量大而且成本亦高。

在斯大林各個五年計劃的年代裏，伴隨着社會主義工業的成長，關於各種金屬熱處理的科學亦隨之成長和發展起來了：蘇聯的學者們對科學有着巨大的貢獻，他們改善了各種熱處理操作曲線並製定了許多新的金屬熱處理方法。例如：由於 H.A. 明凱維奇的研究，於熱處理時製件在火焰爐內的加熱時間被大大地縮短了；B.П. 烏洛哥金教授和其他許多學者曾研究出鋼之高週波加熱的原則，從而就大大地提高了製造許多製件的生產能力。

除推廣新的先進的淬火加熱方法外（高週波和低週波表面淬火、淬火前電解加熱及其他），現有的大型製件（特別是合金鋼製件）淬火前的加熱曲線仍然繼續着很長的時間。除此而外，在操作過程中不得不停爐，因而大量消耗爐內熱量。

此項問題的解決對執行黨第十九次代表大會關於機械製造業進

一步的迅速增長的決議是有着特殊意義的。因為機械製造業的產品在這個五年計劃內應提高大約一倍。

現有各機械製造企業能力運用的進一步改善，乃是上述增長的最重要條件。

為了根本改變於火焰爐內進行熱處理所採用的溫度曲線，必須挖掘生產中蘊藏着的大量的潛在力量。

早在一九四〇年，作者就提出並在C.奧爾忠尼啓則工廠中開始在生產中貫徹大型製件於火焰爐內進行淬火前加熱的新的快速溫度曲線。(註1)

無論是在生產能力方面或在製件的質量方面，大型製件於火焰爐內進行淬火前加熱的快速溫度曲線都和舊的逐漸加熱的溫度曲線有原則上的區別。

考慮到採用此種大型製件淬火前進行加熱的快速曲線能提高生產能力並能改善製件的質量，因此應當建議廣泛地在其他各廠推廣此加熱方法。

註1：根據同一原則的製件快速加熱方法，（即本書作者所提出的方法：其原則即是將製件立刻裝入燒到950°的爐中）早在一九三七年到一九四二年在斯大林格的捷爾任斯基拖拉機工廠中既已被採用了，並且由 M. П. 布拉文以題目為「淬火爐快速溫度曲線」的論文詳載於一九三八年，第十二期「金屬工業通訊」中。例如：據此方法在淬火前加熱了拖拉機的曲軸，其鋼號為 40 X，直徑為 80—90 公厘。經試驗後，在曲軸上沒發現有任何缺陷，爐子的生產能力提高了二倍到三倍，燃料的消耗量減小了50%。

必須指出，在哈爾科夫的奧爾忠尼啓則拖拉機工廠裏已經按此加熱原則進行製件淬火前的加熱工作。

本小冊子之作者的功勞，即在於此種已廣泛應用在中型機械製造廠裏的快速加熱方法，是他用來處理大斷面製件的。——編輯——

大型製件淬火前逐漸加熱的曲線

所以必須採用逐漸加熱是因為如果迅速加熱時，特別是加熱大型製件，在其內部產生超過金屬抗張極限的應力，結果可能發生裂紋甚至於破裂現象。

成為大型製件於火焰爐內進行淬火前逐漸加熱的曲線基礎的有下述見解：1) 大型製件淬火前加熱的爐溫不得超過 $300-400^{\circ}$ ；2) 必須根據計算來確定製件的透燒時間，即：炭素鋼製件，其每一公厘斷面取 1.5 分鐘；合金鋼製件每一公厘斷面取 1.8 分鐘。為使製件斷面上淬火溫度均勻，其保溫時間應取加熱到淬火溫度所需時間的 $1/3$ ；3) 加熱過程中的昇溫速度是根據製件加熱到淬火溫度所需要的計算時間來規定，並按下列公式計算：

$$V_n = \frac{(Ac_3 + 30^{\circ}) - 300^{\circ}}{\tau}$$

式中之 V_n 為加熱速度（度/час）；

τ 為加熱時間（小時）；

300° 為最初爐溫；

4) 加熱到淬火溫度的製件應浸入冷卻介質中（油或水），但是爐溫須降到最初爐溫，即是降到 $300-400^{\circ}$ ，以備再次裝入製件。

從下述例子可看出：在採用此種溫度曲線時有多大的潛力沒能充分利用：試計算一下 10 根直徑為 250 公厘的軸須要多大熱處理時間，其鋼號為 XH3M，鋼的化學成份為：C 0.34% Mn 0.47%，Si 0.28% S 0.017% P 0.019% Cr 1.0% Ni 3.09% Mo 0.3%。

XH3M 鋼的 Ac_3 變態點等於 810° 。因而根據下面等式求得淬火前加熱溫度為：

$$Ac_3 + 30^{\circ} = 810^{\circ} + 30^{\circ} = 840^{\circ}$$

軸在淬火前的加熱是於燒石油的立式爐內進行。最初爐溫為

300°；裝爐是以一根軸進行。註1

軸的加熱所須時間為 $1.8 \times 250 = 450$ 分鐘（7 小時 30 分鐘）。

在 840° 時保溫時間為 $\frac{450}{3} = 150$ 分鐘（2 小時 30 分鐘）。

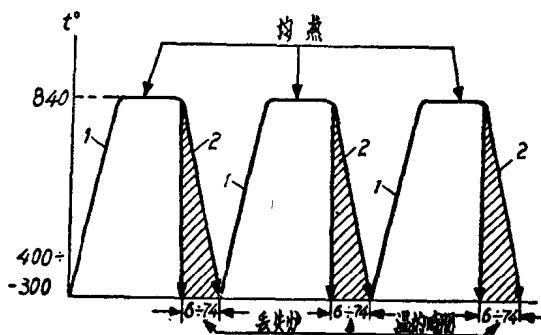
這樣，一根軸的加熱時間及保溫時間為 $450 + 150 = 600$ 分（10 小時）。

從最初爐溫 300° 到 840° 的加熱速度為：

$$v_n = \frac{840 - 300}{450} = 1.2^\circ/\text{分} = 72^\circ/\text{小時}。$$

這樣，淬火前軸的加熱是以如下方式進行的：1) 經 7 小時 30 分鐘爐溫從 300° 昇到 840°，之後在不變的恒溫 840° 下保溫 2 小時 30 分鐘使製件斷面上的溫度均勻化；2) 將軸浸入冷卻介質中（油），但是爐子則開着爐蓋使之冷卻到 300° 的最初溫度。

待達至此溫度後，將另一根軸裝入爐中加熱。因而加熱過程的進行是週期性的，而且被迫停爐的冷卻時間要達 6—7 小時（見第 1 圖）。



第 1 圖 逐漸加熱的圖解

1——爐子的加熱及保溫時間；2——爐冷時間。

註 1：根據烏拉爾機械製造廠的經驗數根軸可同時加熱。爐子的生產能力的提高，不僅是由於數根軸同時加熱，而且也是由於在淬火後可立即重新裝入另一批軸的原因，（就不必要等待爐溫下降後裝爐）。——編譯——

加熱 10 根軸所需時間達 $10 \times 10 = 100$ 小時。

冷卻時的爐冷時間為 $10 \times 6 = 60$ 小時。

共計花費 $100 + 60 = 160$ 小時，其中有 60 小時為非有效時間。

上面所舉的例子說明淬火前加熱的時間過長、爐子的熱量損失很多、冷爐時被迫的停爐時間很長。

利用這些潛在力量是有着很大意義的，但為此就必須根本改變熱處理的加熱曲線。

大型製件淬火前快速加熱的曲線

早在一九四〇年初，作者既在奧爾忠尼啓則工廠最初製定並在生產中開始貫徹新的速度比較快的加熱溫度曲線，用以進行炭素鋼及合金鋼的大型製件在火焰爐內之淬火前加熱。

製件在淬火前進行快速加熱的原則如下：

1) 臨裝料前將爐子燒到工作溫度 $960-980^{\circ}$ (此加熱溫是在實際經驗中規定的標準溫度)；——譯者註：工作溫度即指淬火溫度——

2) 無論是炭素鋼或為合金結構鋼的大型零件，均不經豫熱而裝入燒至 $960-980^{\circ}$ 溫度的爐內；

3) 製件加熱到鋼之 A_{c3} 變態點溫度的加熱速度根據計算確定之，即每公厘直徑為15秒 (指炭素鋼及合金鋼而言)。

加熱到鋼之 A_{c3} 變態點溫度所需時間的確定是根據製件的直徑或厚度，可按第一表確定之。

為了在逐漸加熱的溫度曲線和快速熱加的溫度曲線兩者之間對比淬火爐的生產能力起見，我們再次用前面所舉的例子來說明。在進行快速加熱時，將爐子燒到 $960-980^{\circ}$ ，為此需要5—6小時。

根據加熱製件的直徑或厚度而確定出的淬火前加熱所需時間
工作溫度為 $960-980^{\circ}$ (計算單位：每公厘為15秒)

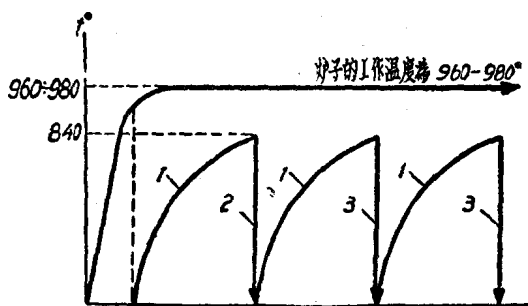
第一表

加熱製件 的直徑或 厚度 (公厘)	時 間 (分)	加熱製件 的直徑或 厚度 (公厘)	時 間 (分)	加熱製件 的直徑或 厚度 (公厘)	時 間 (分)	備 註
100	25	400	100	700	175	對於大的斷面， 可在±10分鐘 的範圍內更正 之。
150	36	450	113	750	187	
200	50	500	125	800	200	
250	63	550	139	850	213	
300	75	600	150	900	225	
350	87	650	163	950	238	

裝爐每次用一根軸，不經預熱，即裝入已燒至 $960-980^{\circ}$ 的爐內。將軸加熱到 A_{c3} 變態溫度的加熱時間根據計算為：每一公厘斷面為 15 秒，即： $15 \times 250 = 63$ 分鐘。

軸在爐內保持 63 分鐘後，浸入冷卻介質中（油），將另一根軸裝入爐內。這樣 10 根軸便繼續不斷地進行淬火前的加熱過程，直到全批淬火完畢止。

在此循序漸進的加熱過程中，爐溫總保持在 $960-980^{\circ}$ 內（見第 2 圖）。



第 2 圖 快速加熱圖解

1—製件的加熱；2, 3 製件出爐浸入冷卻介質中。

試計算一下爐子燒到 $960-980^{\circ}$ 所需時間和 10 根軸所需加熱時間的總數。

1) 爐子燒到 $960-980^{\circ}$ 需要 6 小時；2) 10 根軸 淬火前 加熱的時間為 $63 \times 10 = 10$ 小時 30 分鐘。共需要 6 小時 + 10 小時 30 分 = 16 小時 30 分。

如果對比一下 10 根軸以兩種方法進行淬火前加熱所需加熱時間的話，則得出以下結果：逐漸加熱——需要 160 小時；快速加熱——16 小時 30 分。因而時間消耗的差為：

160 小時——16 小時 30 分 = 143 小時 30 分或 90%。

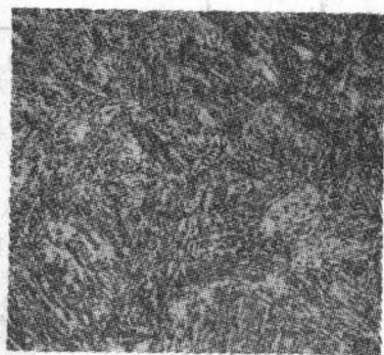
這樣一小批製件（10 根）加熱的實際例子明晰地說明，大型製件於火焰爐內，進行淬火前加熱之新的快速加熱溫度曲線有如何重大的意義。

已經熱處理的XH3M鋼的軸，根據技術條件應具有下述各種機械性能： $\sigma_b \geq 95$ 公斤/公厘²； $\sigma_s \geq 80$ 公斤/公厘²； $\delta \geq 7\%$ ； $\psi \geq 45\%$ ； $\alpha_K 5$ 公斤米/公分²； $H_B \geq 290^{K2}/MM^2$ 。

採用快速加方法淬火和回火後的一批軸（回火溫度為 500—550°），曾取得下列各種機械性能：

σ_b	σ_s	δ	ψ	α_K	H_B
公斤/公厘 ²	公斤/公厘 ²	%	%	公斤米/公分 ²	公斤/公厘 ²
100.1	87.7	12.0	49.7	11.2	302
99.5	85.9	10.0	51.0	12.5	302
101.5	88.2	15.1	57.7	11.5	302
102.5	83.7	14.6	53.1	10.0	341
100.2	82.7	15.7	55.1	10.5	341

用此種方法達到了透徑淬火，顯微組織為針狀托露斯奇體（見第3圖）。



第5圖 XH3M 淬火鋼的顯微組織 $\times 1000$

為了製造上述的軸、使用 XM 鋼代替了 XH3M；對此種鋼所要求的機械性能同 XH3M 鋼一樣。

經快速加熱方法淬火及回火後（回火溫度為 500—550°）熱處理的軸具有以下各種機械性能：

σ_b	σ_s	δ	ψ	α_K	H_B
公斤/公厘 ²	公斤/公厘 ²	%	%	公斤米/公分 ²	公斤/公厘 ²
100.3	90.0	11.5	48.1	10.7	321
101.5	90.7	10.2	48.9	9.5	321
113.5	108.2	9.0	45.6	6.7	341

七輻式板材矯直機上減速器用齒輪軸(45X鋼製成的,其直徑為540公厘,長度為2715公厘)經淬火及回火等熱處理後,根據技術條件應具有以下各種機械性能:

$\sigma_B \geq 85$ 公斤/公厘²; $\sigma_s \geq 65$ 公斤/公厘²; $\psi \geq 45\%$; $\alpha_K \geq 5.0$ 公斤米/公分²; $H_B = 240-270$ 公斤/公厘²。

這些齒輪軸按快速加熱方法加熱、淬火及適當回火後,曾取得以下之機械性能:

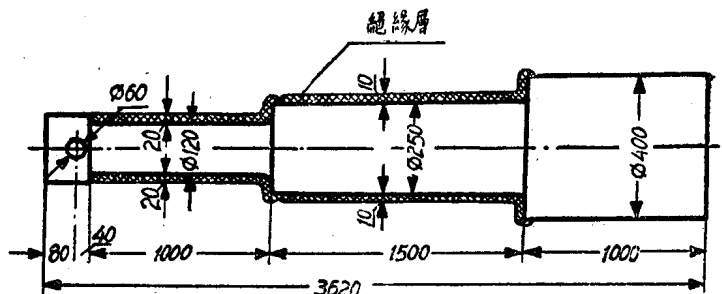
σ_b	σ_s	δ	ψ	α_K	H_B
公斤/公厘 ²	公斤/公厘 ²	%	%	公斤米/公分 ²	公斤/公厘 ²
94.7	70.0	12.4	46.7	6.6	269
95.5	71.7	9.0	45.2	5.0	269
88.7	68.2	20.2	51.2	7.8	255
86.0	67.7	18.1	48.2	7.5	255

有用Y7A、Y8A、Y10A、Y12A、5XBC及其他工具鋼製成的剪切機的剪刀,以及還有一系列:5XHM、XH3M、XM、40XH、50Г及其他合金結構鋼製件於淬火前要進行快速加熱。

進行快速加熱的也有沿整個長度直徑尺寸不一的製件(見第4圖),將此種製件直徑小的部分包上絕緣層,使製件沿整個長度都均勻地透燒。例如:沿長度有三種直徑的軸:Ø400公厘,Ø250公厘和Ø120公厘。

在進行淬火前加熱之先,在軸之Ø120公厘直徑處纏以石棉繩或厚度為20公厘的石綿片,使該處絕緣,在軸之Ø250公厘直徑處纏以厚度為10公厘之石綿。

以下述方法確定軸在淬火前達到均勻透熱的所需加熱時間:



第4圖 沿整個長度直徑尺寸不一的軸

1) 軸的400公厘直徑處需時為: $15 \times 400 = 1$ 小時40分;

2) 軸的250公厘直徑處需時為: $15 \times 250 = 63$ 分;

3) 軸的120公厘直徑處需時為: $15 \times 120 = 30$ 分。註1

當軸裝入燒到 $960-980^{\circ}$ 之立式爐內後 (燒石油), 經 37 分 (1小時40分—63分=37分) 將軸從爐內提上來, 用小鉤子將250公厘直徑處的絕緣層拆下來, 之後再次放入爐中。

其次, 當軸第二次被放進爐中後, 經 33 分 (63分—30分=33分), 重新將軸提上來並將 120 公厘直徑處的絕緣層拆下來, 之後浸入爐中。最後, 軸裝入爐中後經30分鐘出爐, 浸入冷却介質(油)中。

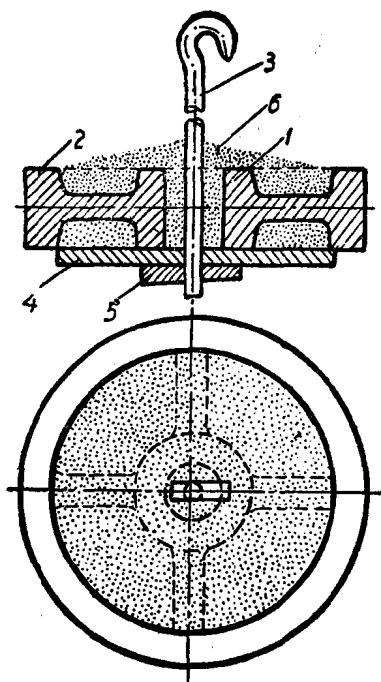
在軸的小直徑處纏以絕緣石棉層, 就防止了小直徑處被過燒。

此種在小直徑處纏以石棉絕緣層進行逐次加熱的方法, 有着很大的意義, 例如: 對板材矯直機用軸的加熱。

淬火前進行快速加熱的還有減速齒輪, 重量在2噸以下, 鋼號為40ГЛ和ХГЦЛ。齒輪的輪緣及輪轂經退火後進行機械加工, 加工後將齒輪送到熱處理車間進行輪緣淬火。

輪緣的表面硬度(布氏)在退火狀態下為 $150-170$ 公斤/公厘²; 爲了將硬度提高到 $230-240$ 公斤/公厘² 齒輪要進行淬火, 但只有輪緣進行加熱。淬火時使用一種卡具 (見第5圖), 這種卡具有

註1: 計算時未考慮絕緣層——編輯——



第5圖 齒輪輪緣淬火用卡具

一個圓盤4，以厚度為70公厘的生鐵板或耐熱鑄鐵製成；另外還有一根拉桿3，用楔鐵5將此拉桿同圓盤緊定在一起。將齒輪安在卡具上之後，往輪殼及輪輻上填以耐火粘土6，只有輪緣2露在外面。齒輪在填以耐火粘土的狀態下裝入燒到 $960-980^{\circ}$ 的爐中。

經1小時30分齒輪的輪緣透燒到 930° 的溫度，之後將齒輪從爐中提出來，卸掉卡具和耐火粘土，最後浸入油中。

經淬火及回火後（回火溫度為 $550-600^{\circ}$ ），輪緣的布氏硬度為230—240公斤/公厘²。

快速加熱的溫度曲線

鋼內再結晶過程進行的是否均勻以及冷卻後，適當的微細晶粒組織的取得均取決於加熱質量。因而，在淬火，正常化或退火時，製件的加熱溫度應稍微超過 A_{cs} 變態點溫度，在此加熱溫度下嚴格地保持一定的時間。這樣同時就可避免產生過熱現象，不致因過熱而使金屬的可塑性和韌性急劇降低。

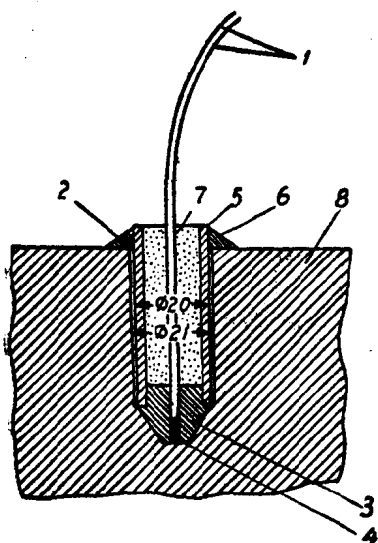
為避免大斷面製件在熱處理過程中發生碎斷的可能性不准許急劇加熱，認為：在急劇加熱時產生一種大大超過加熱製件之抗張極限的應力，因此結果製件會在淬火過程中或淬火後碎斷。

但是並沒有足夠使人信服的材料來說明，製件在淬火過程中或淬火後碎斷是因為採用快速加熱的原因。有些情況是人所共知的，就是製件在淬火前，即在緩慢加熱時亦發生碎斷現象。

於生產中推行大斷面製件淬火前快速加熱的同時，就必須研究在此種加熱下鋼胚斷面上各點溫度分佈的情況及溫度差。

為了測定溫度，使用直徑為 $\varnothing 3$ 公厘的鉻鋁—鋁鎳合金熱電偶（見第 6 圖）。

熱電偶的焊接點 4 用黃銅和銅製接觸頭 3 焊接在一起，此銅製接觸頭 3 焊接在鋼管 5 上，在鋼胚的中間部份上，以放射線方向鑽出各種不同深度的孔眼（從表面向中心），將帶銅製接觸頭的鋼管插入這些孔眼內，但須緊貼在孔眼的底部。

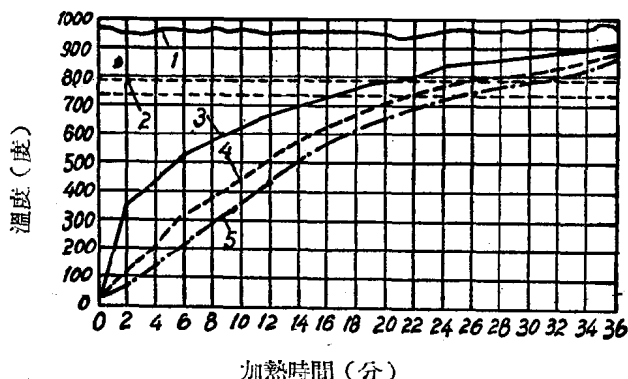


第 6 圖 鉻鋁—鋁鎳合金熱電偶的裝置

將套在鋼管上的固定圈2焊在鋼胚8表面的各個位置6上。管內填以隔緣混合劑7，其成份為：泥灰石（80%鋁氧和20%粘土粉），5%耐火粘土，5%水玻璃。將這些混合物在水中融解成酪漿狀。

鋼管的表面用石綿繩和耐火粘土使之絕緣。

使用不同直徑的鋼胚（自100到900公厘）進行加熱溫度的分佈試驗。



第7圖 鋼胚斷面上溫度分佈的曲線

直徑為100公厘，長度為1500公厘，鋼號為9X

1—爐的加溫度；2— Ac_1 及 Ac_3 變態溫度範圍；3—15公厘深處的温度；4—30公厘深處的温度；5—50公厘深處的温度。

1. 在加熱直徑為 $\varnothing 100$ 公厘，長度為1500公厘，9X鋼的鋼胚時，插入3根熱電偶（見第7圖）。第一根（第7圖曲線3）插入15公厘深處；第二根（第7圖曲線4）插入30公厘深處；第三根（第7圖曲線5）插入50公厘深處。

插有熱電偶的鋼胚，不經預熱就裝入到燒到 980° 度的立式爐內（見第7圖曲線1）。在加熱過程中，每經兩分鐘測定溫度。鋼胚裝入爐內後經兩分鐘，第一根熱電偶（見第7圖曲線3）的溫度已達到 350° ，第二根熱電偶（見第7圖曲線4）的溫度為 120° ，第三根（見第7圖曲線5）之溫度為 98° 。表面層和中心層間的溫度差

為 $350^{\circ} - 98^{\circ} = 252^{\circ}$ 。

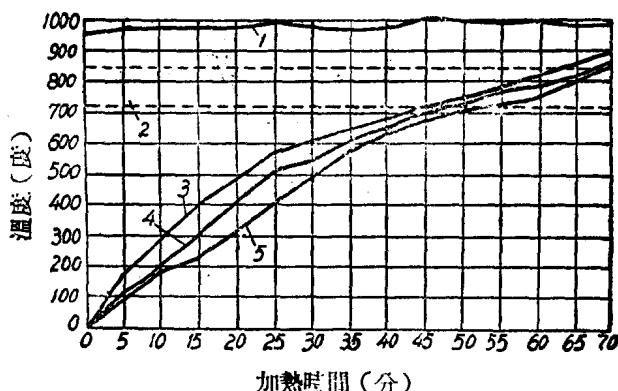
裝爐後經25分，第一根熱電偶的溫度為 850° ，第二根為 780° ，第三根為 740° 。溫度差為 $850^{\circ} - 740^{\circ} = 110^{\circ}$ 。應當指出，這個溫度差正表示在變態範圍 ($A_{c1} - A_{c3}$) 內。

裝爐後經36分，第一根熱電偶的溫度為 920° ，第二根為 880° ，第三根為 860° 。在此時最大的溫度差為 $920^{\circ} - 860^{\circ} = 60^{\circ}$ 。

2. 在加熱直徑為 $\varnothing 200$ 公厘、長度為 1500 公厘 9X 鋼的鋼胚時，插入了四根熱電偶。第一根的插入深度為 15 公厘，第二根的插入深度為 30 公厘，第三根為 50 公厘，第四根為 100 公厘。鋼胚同樣未經預熱而裝入燒到 980° 溫的立式爐內。裝爐後經 5 分鐘，表面及中心帶間的溫度差為 $420^{\circ} - 80^{\circ} = 360^{\circ}$ 。

裝爐後經 55 分鐘溫度差（於變態範圍內）為 $830^{\circ} - 760^{\circ} = 70^{\circ}$ 。

3. 在加熱直徑為 $\varnothing 250$ 公厘，長度為 2500 公厘 35X₃M 鋼的鋼胚時，插入了三根熱電偶（見第 8 圖）。第一根熱電偶的插入深度為 25 公厘（見第 8 圖曲線 3），第二根為 50 公厘深（見第 8 圖曲線 4），第三根為 125 公厘深（見第 8 圖曲線 5）。



第 8 圖 鋼胚斷面上溫度分佈的曲線

直徑為 250 公厘，長度 2500 公厘，鋼號為 35X₃M。

1—爐的加熱溫度；2—變態溫度範圍： $A_{c1} - A_{c3}$ ；3—25 公厘深處的温度；
4—50 公厘深處的温度；5—125 公厘深度的温度。