

热 处 理 工 件 的 快 速 加 热 法

陆载厚、王汉近編著

中国科学院北京实验生物研究所

編著者：陆載厚、王汉近

NO. 1555

1957 年 9 月第一版 1957 年 9 月第一版第一次印刷

787×1092 $1/32$ 字数 18 千字 印張 $3/4$ 0,001— 5,700 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第 008 号

統一書号 T15033-658
定 价 (9) 0.11 元

內容提要 本書介紹了快速加熱法的原理，以及在鹽浴爐和反射爐中快速加熱中、小零件的實際方法，包括對加熱爐和儀表的 要求、溫度和裝爐量的選擇、加熱時間的計算及一些應注意的問題等。書中舉出 7 個應用快速加熱法進行熱處理的實例，可以幫助大家掌握這種新的、高生產率的加熱方法。

本書可供機器製造廠熱處理工人學習、參考。

目 次

一 前言	1
二 快速加熱的原理	2
三 快速加熱法所用的加熱爐和儀表	6
甲 加熱爐	6
1 鉛浴爐(6)——2 鹽浴爐(6)——3 箱式電爐(7)——4 柴油爐、煤氣爐和反射爐(7)	
乙 儀表	8
四 怎樣制定快速加熱的工藝規程	8
1 怎樣選擇爐子的溫度(8)——2 怎樣選擇裝爐量(10)——3 怎樣計算加熱的時間(11)	
五 在鹽浴爐中進行快速加熱熱處理的實例	13
甲 工件單件裝爐	13
1 彈簧卡頭(13)——2 成形模(15)——3 中鏈節鍛模(15)	
乙 工件成批裝爐	16
1 連杆螺栓(16)——2 活塞銷(17)	
六 在反射爐中進行快速加熱熱處理的實例	20
1 機車車輛彈簧(20)——2 嘎斯51型汽車的羊角(20)	
七 幾個需要注意的問題	21
1 工件形狀問題(21)——2 零件是否要預熱問題(22)——3 工件的原始組織問題(23)	
八 如何組織快速加熱的生產	23
九 快速加熱的應用範圍	25

一 前言

許多机器上的主要零件以及各种刀具、量具、模具，都需要热处理。热处理改变了它們的内部組織，因而也改变了它們的性能。它們的質量跟热处理的正确与否有着極密切的关系。

热处理过程基本上可以分为加热、保温、冷却三个阶段。在加热阶段，人們除了要使加热溫度正确之外，还要控制加热的時間。

过去大家对于加热过程是这样認識的，就是为了防止因为加热不均匀而产生应力、产生变形等，應該使工件的溫度緩慢地上升，使工件內外的溫度差减少。可是这样一来，加热过程的延續時間就比較長了。如果工件的尺寸較大，加热時間往往需要十几个小时以至于几十个小时。加热時間長就使得燃料的消耗量增加了，加热爐的生产率降低了，工件的成本也就高了。加热時間過長，还会增加工件的氧化和脫碳。

1952年，苏联热处理專家捷克洽廖夫（В.М.Дегтярев）在我国各地介紹了他十几年的經驗——大截面工件的快速加热法，1954年以后，各地又推行了在各种加热爐里快速加热中、小型零件的方法，效果都很好。例如：天津車輛彈簧厂推行了快速加热法（在反射爐中加热）之后，所制造的36公厘彈簧的卷簧工作量从每班103个提高到每班334个，淬火工作量从每班70个提高到每班222个，淬火件的廢品率从2.74%降低到0.06%；天津拖拉机厂推行了快速加热法（在鹽浴爐中加热），生产率提高了1~8倍，并且一个季度节省了电力50000千瓦·小时，劳动

組織也縮減了20%；綦江汽車配件廠推行了快速加熱法後，所製造的齒輪的行車壽命從5000公里提高到50000公里以上。

快速加熱法有以下几个主要优点：

1. 可以采用流水作業法，大大地节省了加熱時間和所消耗的燃料，提高了設備的利用率，节省了一些勞動力，降低了产品的成本；
2. 控制容易，不論什麼鋼料（但高合金鋼除外），加熱的溫度都可以一樣，而且不必有保溫階段，只要掌握加熱時間就行了；
3. 工件的氧化、脫碳現象大大地減少了，工件的變形也減少了；
4. 不需要預熱，节省了預熱設備。

本書除了介紹快速加熱法的原理之外，還介紹實際操作的方法，但只是以介紹中、小型零件為主，而且以鹽浴爐為主要的加熱設備。此外，本書還介紹一些在反射爐中進行快速加熱的方法。至於大截面工件的快速加熱法，已有捷克洽廖夫專家著作的漢譯本[●]可供參考，這裡就不再重復了。

快速加熱法的歷史還不太久，許多問題還有待於進一步研究，例如，高合金鋼（ $\psi 12 \square$ 、 $3 \psi \times 8$ 、 $\Delta 18$ 等）的快速加熱、大件和形狀複雜的零件的快速加熱等問題都還沒有解決，在理論上也還缺乏系統的研究，這就使得快速加熱的應用目前還要受到一定的限制。

二 快速加熱的原理

在加熱的時候，工件的溫度逐漸升高了。工件溫度升高的速度（也就是加熱速度），儘管跟加熱的方式有關係，但是主要還

● [大截面制件快速加熱法]，重工業出版社，1954年。

是靠爐子溫度和工件溫度的差來決定的。溫度差越大，在同樣時間內工件所得到的熱量就越多，溫度也就升高得越快。

在過去，我們是把工件放在溫度和最終加熱溫度相同的爐子裏加熱的。為了防止工件在加熱過程中，因為內外溫度差過大而發生內應力，以致變形或開裂，遇到截面較大或形狀較複雜的工件，習慣上是把它們先放在溫度較低的爐子裏預熱，然後再轉到爐溫 and 最終加熱溫度相同的爐子內繼續加熱的（或者逐漸升高預熱爐的溫度，把工件加熱到最後溫度）。

採用快速加熱法的時候，不需要把工件預熱，而直接把它們放在比淬火溫度高 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的爐子中加熱。由於爐子溫度和工件溫度的差大，加熱速度自然要大得多。按照蘇聯明克維奇教授制訂的計算方法，採用普通加熱法在反射爐裏加熱的時候，合金鋼的加熱時間是 1.8 分/公厘，碳鋼的加熱時間是 1.5 分/公厘；可是採用快速加熱法只需要 20 秒/公厘就行了。這就是說，比起普通加熱法，採用快速加熱法所耗費的加熱時間縮短了 80% 左右。從圖 1 可以看出，加熱時間 t_1 （採用快速加熱法）要比 t_2 （採用普通加熱法）短得多。如果工件用普通方法加熱的時候要

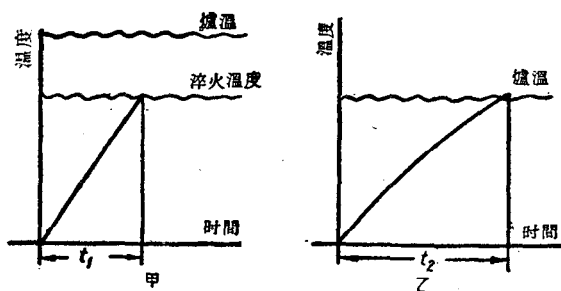


圖 1 快速加熱法和普通加熱法的比較(示意圖):
甲—快速加熱法；乙—普通加熱法。

在低溫裝爐，那么快速加热的效率就更要高得多了(如圖 2 所示)。

也許大家要問：采用快速加热法好是好，但是会不会影响工件的質量呢？在推行快速加热法的时候，大家最担心的就是工件会不会变形甚至开裂。其实这种顧慮是不必要的。

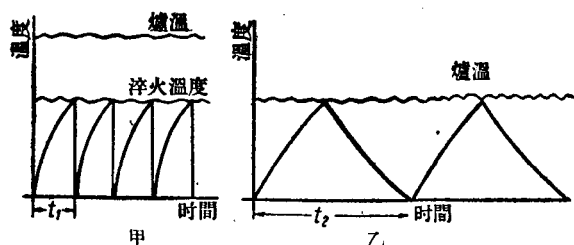


圖 2 快速加热法和随爐升温加热法的比較(示意圖)：

甲—快速加热法；乙—随爐升温加热法。

大家知道，工件放入溫度很高的爐子中后，一定是外部先受到热量，因而外部的溫度比內部升高得快，造成了內外溫度的一定差数。金屬受热后会發生体积膨脹，要是內外溫度不一致，膨脹当然也不一致，这就会产生內应力。內外溫度差越大，內应力也越大。当內应力大到超过金屬本身的强度，金屬就被破坏，也就是說，工件就会开裂了。过去人們就是根据这种看法，規定工件必須緩慢地加热，以免因溫度差过大而造成內应力过大。

上面說的不讓工件內外溫度差过大的看法是正确的。問題在于采用快速加热法的时候，工件內外溫度差是否大到足以使工件变形或开裂的程度。实验的結果証明，快速加热不会造成工件內外溫度差过大。把直徑分別为 25 公厘、50 公厘、75 公厘 和 100 公厘的鋼坯放在 1100°C 的爐子中加热，可以發現，直徑越大，鋼坯內外溫度差的最大数值也越大；但即使是直徑 100 公厘的鋼坯，最大溫度差也不过是 120°C ，而直徑 25 公厘的鋼坯，最大

溫度差只有 30°C 。這我們可以从圖 3 上看出来。而且工件的內外溫度差是在剛加熱不久的時候最大，後來就越來越小了。因此，快速加熱並不會造成很大的內應力。

此外，鋼在溫度升高的時候，它的機械性能（特別是塑性）也是在變化的。表 1 列出去 7 號碳工具鋼的延伸率和衝擊韌性在溫度變化時候的變化情形。衝擊韌性和延伸率隨溫度升高而提高，也可以解釋為什麼快速加熱的時候工件不會變形或開裂。

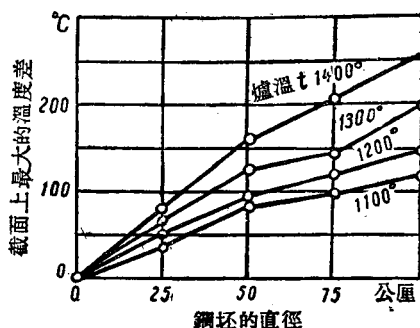


圖 3 鋼坯斷面上的最大溫度差同鋼坯直徑的關係。

表 1 去 7 號碳工具鋼在各種溫度下的機械性能

溫度 機械性能	室溫	600°C	700°C	800°C	900°C	1000°C	1100°C	1200°C
延伸率(%)	21.5	25.2	35.6	46.5	57.6	59.1	66.0	68.5
沖 擊 值 (公斤·公尺/公分 ²)	1.84	4.62	28.55	25.64	21.44	15.73	12.12	8.82

另外象高頻率淬火法的应用，也可以說明采用快速加熱法是不會發生問題的。高頻率感應電流加熱，一般都是使工件的表面溫度在幾秒鐘之內升到高溫，工件內外溫度差要比快速加熱的時候大得多；但是實際使用的結果證明是沒有問題的。

三 快速加热法所用的加热爐和仪表

甲 加热爐

快速加热所用的加热爐，需要具备两个基本条件：

(1) 能够加热到快速加热所需要的温度，并且当工件入爐吸收了一部分热量使爐溫降低后，能够很快地恢复温度（否則就不能得到預期的效果）；

(2) 能够准确而方便地控制温度，并且爐溫要比較均匀（因为快速加热的加热時間很短，不能准确地控制爐溫，就会使加热時間無法决定，而这样就很难保証工件的質量）。

根据以上两个条件，下面討論一下各种加热爐。

1 鉛浴爐 这种爐子具有傳热快的优点，效率比下面說的鹽浴爐高。但是，鉛是一种很有用的金屬，同时鉛在高温的时候揮發、氧化得很快，对工人的身体健康有害，虽然可以在液面上撒一層石墨粉来减少揮發，但終究还是不好的。因此，最好不用鉛浴爐进行快速加热。

2 鹽浴爐 內热式电極鹽爐比較适合于中、小型零件的快速加热。因为它容易控制，温度均匀，而且能够很快地恢复爐溫。用电作热源的外热式鹽浴爐，恢复爐溫的能力十分差，生产率会受到影响，不太适用。用煤、焦炭、柴油等作燃料的外热式鹽浴爐还是可以用于快速加热的，但用的时候必須注意爐溫的控制。

鹽液的成分，根据几个工厂推行快速加热法的經驗，以氯化鉍 70~80% 加氯化鈉 20~30% 較为适宜。氯化鈉多了，鹽浴的流动性較好，可是在 960~980°C 的温度下揮發得比較厉害。氯

化鋇多了，鹽浴的熔點也提高了，但是流動性卻又差了。鹽液的脫氧可以用黃血鹽或其他常用的脫氧劑來校正。鹽液中的氧化鋇的含量不得超過0.5%。

在鹽浴爐里加热的零件，它們的重量一般不超過 20 公斤，在快速加热的时候还要少些。零件的有效厚度一般最好不超過 100 公厘。

3 箱式电爐 这种爐子一般都是以輻射的方式来加热零件的。如果發热元件是电爐絲，那么在快速加热的时候，爐絲的寿命將會縮短。同时最高的使用溫度一般是 950°C ，如果溫度要經常保持在 $960\sim 980^{\circ}\text{C}$ ，爐子的功率也就成問題了。所以这种爐子是不太适合于在 $960\sim 980^{\circ}\text{C}$ 的範圍內进行快速加热的。不过溫度如果降低到 $900\sim 920^{\circ}\text{C}$ 或 $920\sim 940^{\circ}\text{C}$ 还是可以用这种爐子进行快速加热。

如果發热元件是碳硅棒，爐子的最高使用溫度可以达到 1350°C 。这样的箱式电爐用来进行快速加热没有什么問題（但这类爐子一般都是專門用来进行高速鋼热处理的）。

此外，箱式电爐的爐溫是不够均匀的，操作的时候不应当讓工件靠近發热元件。

4 柴油爐、煤气爐和反射爐 用柴油或煤气做燃料的室式爐，以及用煤做燃料的反射爐，可以用来进行快速加热。主要的問題在于溫度的控制。如果在燒油或燒煤气的爐子中裝有自动調節裝置，控制溫度并不困难。如果用閘板或人力来控制溫度，那就比較困难了，特別是燃煤的反射爐，因为仪表所指示的溫度往往不是实际的爐溫。此外，爐溫不均匀也使得快速加热的工件的質量不一致；在这种情况下，必須通过工艺試驗求出爐溫 and 仪表所示溫度的差別，同时只在爐膛中央爐溫比較均匀的地方放置工件。

乙 仪表

測量溫度对快速加热來說是很重要的。沒有仪表測量溫度，可以說就不能进行快速加热。因为要爐溫在高于淬火溫度的爐子里看工件的溫度是不可能的；而如果把工件經常拿出来看，一方面影响了生产，另一方面也看不准，这种做法是不科学的，不能保証工件的質量。

在快速加热的时候，最好用热电偶来測量溫度，鉑銻-鉑的可以用，鉻鋁-鎳鋁的也可以用（在 $960\sim 980^{\circ}\text{C}$ 下使用）。热电偶比起光学高溫計和輻射高溫計都要准确些。要是用的是鹽浴爐，热电偶的保护管不能用瓷質的，而应当用不銹鋼的、耐热鋼的或者普通低碳合金鋼的。热电偶的浸鹽端最好不用焊接，而采用鑽孔管（即用鑽頭在元鋼上鑽出深約 $150\sim 200$ 公厘的孔的一端封閉管）。热电偶的保护方法也跟用普通加热法的时候一样。操作的时候要注意热电偶在爐內的位置，以及它所指示的溫度是否能够代表工件附近的溫度、它随爐溫变化的灵敏程度等。

四 怎样制定快速加热的工艺規程

1 怎样選擇爐子的溫度 上面說過，加热能够「快速」的原因是爐溫高；爐溫越高，升溫越快。但是溫度太高也有坏处。溫度太高了，加热的時間就很短，如果爐溫不能控制得很严格，或者仪表有了誤差，工件就会因極小的時間上的差別而过热或加热不足。可是溫度过低，又会影响加热速度，失去了「快速」的意义。下面就来研究一下到底用什么样的溫度才比較合适。

在把工件取出爐子的时候，工件的內外是存在着一定的溫度差的。这溫度差和几个因素有关，首先是溫度头（即爐溫 and 工件出爐时的实际溫度的差数）。溫度头大，加热時間可以縮短很多，

但工件內外的溫度差也大。如圖 4 所示，把直徑 50 公厘的鋼坯

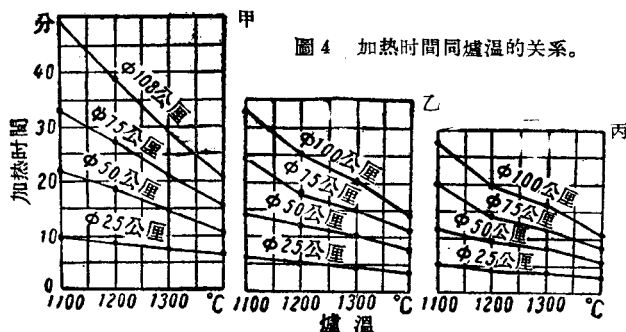


圖 4 加熱時間同爐溫的關係。

加熱到 1100°C，如果爐溫是 1100°C，需要 22 分鐘；如果爐溫是 1200°C，需要 18 分鐘；如果爐溫是 1300°C，需要 15 分鐘；如果爐溫是 1400°C，只需要 11 分鐘。這就是說，爐溫每升高 100°C，時間縮減 17~26%。溫度头和工件截面溫度差以及加熱時間縮減率之間的關係，如表 2 所示。

表2 溫度头和工件截面溫度差及加熱時間縮減率之間的關係（爐溫在 1100~1400°C，截面直徑是 100 公厘）

溫度头(°C)	50	75	100	150	200
截面溫度差(°C)	15~20	25	35	50	65
時間縮減率(%)	35	44	50	57	62

从表 2 可以看出，当溫度头是 100°C 的时候，時間縮減率是 50%，当溫度头是 200°C 的时候，時間縮減率增加到 62%，相差只有 12%；但是与此同时，截面溫度差却从 100°C（溫度头）时候的 35°C 增加到 65°C，几乎增加了一倍。所以溫度头太大，必然会影响淬火的質量。

根据快速加热專家的推荐，一般工厂的爐溫都采用 960~980°C。工件在这溫度下加热，只要很短的时间，就可以达

到所要求的淬火溫度。專家選用了 $960\sim 980^{\circ}\text{C}$ 的爐溫，既照顧了加熱設備和儀表的使用情況，又照顧到工件的質量，並有較大的經濟效果。但是 $960\sim 980^{\circ}\text{C}$ 並不是必須遵守的範圍，低一些（象 $920\sim 940^{\circ}\text{C}$ 或 $940\sim 960^{\circ}\text{C}$ ）也未嘗不可。在使用電爐絲加熱的箱式電爐的時候，把爐溫選擇在這種範圍是比較合適的，這時候，溫度的降低只會影響加熱的時間略為長了一些。不論所選擇的爐溫是多少，在這個溫度的控制範圍要越窄越好（例如， $960\sim 980^{\circ}\text{C}$ 的控制範圍只是 20°C ）。

2 怎樣選擇裝爐量 在整個加熱過程中，爐溫最好能穩定在一定的範圍中。如果由於加熱爐的功率小，裝爐金屬較多，而使爐溫發生變化，那麼至少在零件出爐的時候，爐溫應該會恢復到規定的溫度，而避免空爐升溫。實際生產經驗證明，只有這樣才能發揮加熱爐的最大生產能力。

快速加熱時爐溫的波動跟金屬裝爐量的多少和裝爐方法有關。一般爐溫的變化，可能如圖5所示。圖5甲表示爐溫一直保持在 $960\sim 980^{\circ}\text{C}$ 之間，不受金屬裝爐的影響。圖5乙表示爐溫在金屬入爐後下降，但在零件出爐的時候仍能恢復到入爐溫度，也就是說，在這種情況下可以連續生產。圖5丙表示爐溫在金屬入爐後下降，而在零件達到淬火溫度的時候還沒有恢復到入爐溫度，必須空爐升溫一段時間後，才能進行下一批零件的加熱。

一般說來，裝爐金屬的重量不多，或者只是單個零件加熱，爐溫基本上沒有波動。如果是成批入爐成批出爐的小零件，爐溫就可能如圖5乙那樣波動；在這種情況下，加熱的時間需要長些，但是生產率仍是很高的。如果成批入爐的零件的重量太多，那麼爐溫就可能如圖5丙那樣波動，這樣生產率就不夠高了。裝爐金屬重量的極限要根據加熱爐的功率和爐膛面積來決定。例如

采用 55 千伏安的內热式电極鹽爐进行快速加热的时候，如果爐膛的尺寸是 $300 \times 300 \times 360$ （深）公厘，溫度在 $960 \sim 980^{\circ}\text{C}$ ，那么只要每次裝爐工件的重量不超过 6 公斤，爐溫就可以保持象圖 5 乙所表示的那样，即当工件加热終了的时候，爐溫正好恢复到 $960 \sim 980^{\circ}\text{C}$ 。

有时可以采用流水作業法，就是把工件分批投入，分批取出。这样可以得到較高的生产率。流水作業的裝爐规范也必須根据加热爐的功率和爐膛面积来規定，投入工件的时间間隔 t_1 ，应当根据零件的情况来决定。圖 6 是采用流水作業法时候的加热曲线。

一般在反射爐中进行快速加热的时候多半采用这种方法。

3 怎样計算加热的時間 影响鋼鉄加热時間的因素很多。各种鋼料的热容量、热傳导系数和淬火溫度都不一样，零件的形狀、重量、表面情况和裝爐方法也各不相同，因此它們的加热時間也都不同。加热爐的情况对加热時間的影响最大。

單件快速加热的時間可以按照下式来計算：

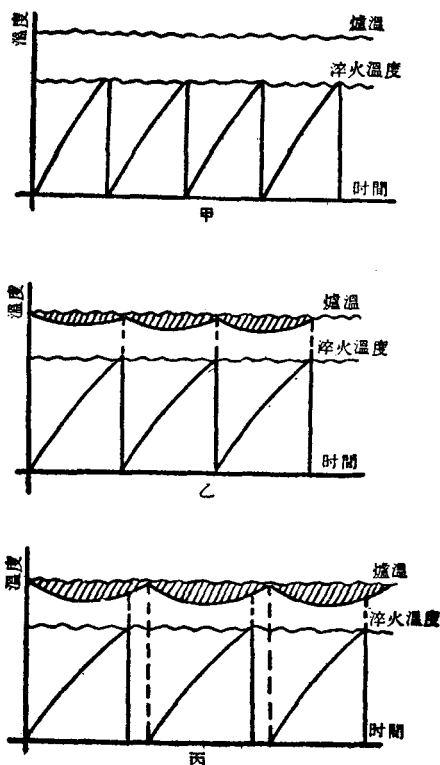


圖 5 爐溫波動的三種情況。

$$T = a \times d \quad (1)$$

式中 T ——快速加热的時間 (秒); d ——工件的有效厚度 (公厘); a ——加热系数 (秒/公厘)。

計算出来的時間必須得到工艺試驗的驗證。下面提出一些加热系数供大家参考; 这些加热系数的数值是当爐溫保持在 $960 \sim 980^\circ\text{C}$ 时候的数值。

一、鹽浴爐中加热时候的加热系数如表 3 所示, 鹽浴的成分是 70% 氯化鋇 (BaCl_2) + 30% 氯化鈉 (NaCl)。

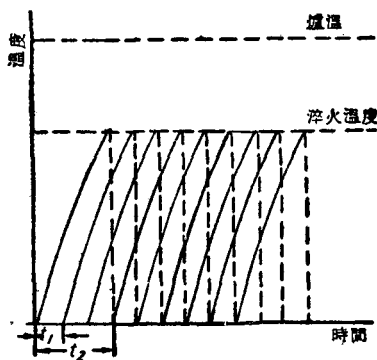


圖 6 采用流水作業法时候的加热曲綫:

t_1 —投料的間隔時間;

t_2 —每批工件的加热時間。

表 3 在鹽浴爐中加热时候的加热系数

材 料	加热系数 a (秒/公厘)	
	工件有效厚度在 10 公厘以下	工件有效厚度在 10~60 公厘
渗碳的零件, 碳工具鋼	6~7	3~6
碳結構鋼, 合金結構鋼, 合金工具鋼 (淬火溫度在 900°C 以下的)	7~9	6~8

二、在反射爐中加热的时候, 各种鋼料的加热系数都一样: 工件有效厚度为 100 公厘以下的, 是 20~25 秒/公厘; 工件有效厚度为 100~950 公厘的, 是 15~20 秒/公厘。不过这样計算出来的時間不很准确, 需要在实际生产中加以調整。

三、在箱式电爐中加热的时候, 工件有效厚度在 100 公厘以下的加热系数可以定为 25~30 秒/公厘; 有效厚度在 100 公厘以

上的，加热系数定为 $20 \sim 25$ 公厘/秒。各种鋼料采用同样的加热系数，在实际生产中加以調整。如果把爐溫提高到 $960 \sim 980^{\circ}\text{C}$ 有困难，可以把爐溫改为 $900 \sim 920^{\circ}\text{C}$ ，并适当地加大加热系数（要通过試驗来决定）。

在鹽浴爐中进行成批零件快速加热的时候，它的加热曲綫就象圖 5 乙那样，加热時間要按下式計算：

$$T = a \times d + b. \quad (2)$$

式中 b 是附加的时间，根据裝爐金屬的多少和影响爐溫下降多少来决定。如果在 55 千伏安的电極鹽浴爐中加热， b 值如下：

当每次裝爐零件的总重量小于 1.5 公斤的时候， $b = 0$ ；

当每次裝爐零件的总重量是 $1.5 \sim 3.0$ 公斤的时候， $b = 15 \sim 30$ 秒；

当每次裝爐零件的总重量是 $3 \sim 4.5$ 公斤的时候， $b = 30 \sim 40$ 秒；

当每次裝爐零件的总重量是 $4.5 \sim 6.0$ 公斤的时候， $b = 40 \sim 55$ 秒。

在别的爐子中成批零件快速加热的時間，可以按公式 2 的原則通过試驗求出。

五 在鹽浴爐中进行快速加热 热处理的实例

在下列各例中，所用的加热爐都是 55 千伏安的内热式电極鹽浴爐，爐腔尺寸是 $300 \times 300 \times 360$ （深）公厘。

甲 工件單件裝爐

1 彈簧卡头（圖 7）

材料：A84 号鋼 硬度：如圖

操作过程:

(1) 进行调质处理, 使硬度等于 $HR_{C18\sim24}$; 再细加工, 要留出磨量。

(2) 把 A 处浸入盐浴炉中加热 120 秒钟, 加热温度是 $960\sim980^{\circ}\text{C}$ (图 8 甲)。

(3) 连同 B 处一起浸入盐浴炉中加热, 加热时间是 90 秒钟 (图 8 乙)。按照计算只需要 50 秒钟, 但是在冷却的时候, B 处要在空气中停留 6~8 秒钟, 所以把温度提高一

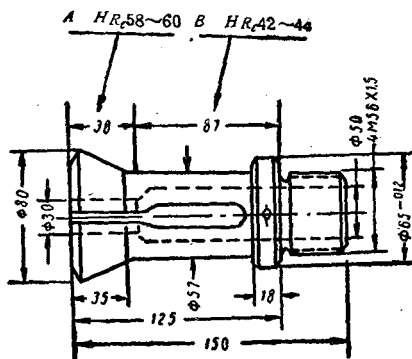


图 7 弹簧卡头。

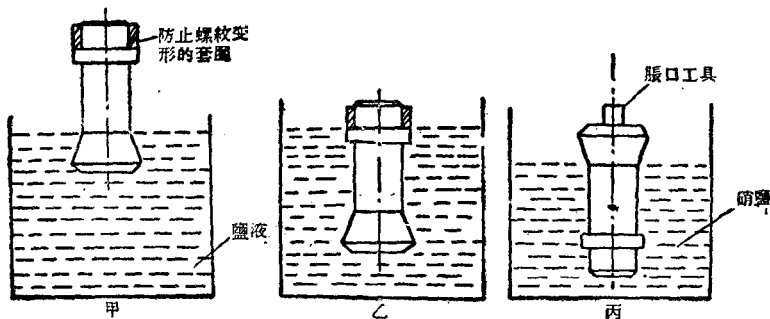


图 8 弹簧卡头热处理操作示意图。

些, 以便当 A 处淬火以后, B 处的硬度能达到 $HR_{C48\sim58}$ (B 处要在 A 处淬火后再淬火)。

(4) 把 A 处浸到 6% 的盐水中冷却 6 秒钟, 然后立即把整个工件浸入油中冷却。盐水温度是 $25\sim35^{\circ}\text{C}$; 油的温度是 $30\sim80^{\circ}\text{C}$ 。