

機械工人活葉學習材料 097

朱譜藩編著

高速鋼的熱處理



機械工業出版社

工 業 技 術

*

編著者：朱譜藩 文字編輯：顏一琴 責任校對：周任南

1953年8月發排 1953年11月初版 00,001—12,000冊
書號0366-8-97 31×43¹/₃₂ 11千字 8印刷頁 定價800元(丙)

機械工業出版社(北京亞甲廠17號)出版

機械工業出版社印刷廠(北京泡子河甲1號)印刷

中國圖書發行公司發行

目 次

一	高速鋼的種類和主要合金元素的作用.....	I
二	高速鋼的熱處理.....	5
	1 預熱——2 淬火——3 回火	
三	預熱和高溫加熱的時間.....	10

·高速鋼是一種含合金元素很高的工具鋼，在各工廠的車間裏，它在工具鋼中佔着很重要的地位。爲什麼高速鋼這樣值得我們重視呢？因爲它具有一種突出的優越性能——赤熱硬度。高速鋼的工具由於有這一種特性，在切削或作爲其他用途時，即使工具本身的溫度升高到 600°C ，它的硬度仍舊很高而不失去切削能力。也就是因爲它能够在高速下担任切削工作，所以我們把它叫做高速鋼。高速鋼的這種優越性是一般碳工具鋼所不及的，因爲高碳鋼只要熱到 200°C 左右就漸漸的變軟了。

爲什麼高速鋼會有這樣優越的赤熱硬度（當然還有高的耐磨性能及韌性等好處）呢？我們可以把它分爲下面兩個原因：

1. 由於高速鋼本身含有大量合金元素的關係；
2. 由於正確的熱處理的關係。

由此看來高速鋼的熱處理是非常要緊的。現在先把高速鋼的種類以及合金元素的作用來介紹一下，對我們也是很有益處的。

一 高速鋼的種類和主要合金元素的作用

高速鋼的種類很多，最常用的有兩種。現在把它的成分和熱處理的溫度列在表 1 中。

P-18 就是平常我們最熟悉的 18-4-1 型高速鋼。18-4-1 的意思就是說這種高速鋼裏含有 18% 鎢，4% 鉻和 1% 鉬。所以我們把它叫 18-4-1。

從表 1 中，我們可以看到高速鋼中含合金元素是很高的。下面談一談這些合金元素在鋼中究竟起了些什麼重要的作用：

表 1 高速鋼的成分和它的熱處理溫度

鋼號	化 學 成 分 (%)				熱處理的溫度 (°C)		
	碳(C)	鎢(W)	鉻(Cr)	鎢(V)	退火溫度	淬火溫度	回火溫度
P-18	0.7 ~ 0.8	17.5~19.0	3.8~4.4	1.0~1.4	870~890	1270~1285	550~570
P-9	0.85~0.95	8.5~10.0	3.8~4.4	2.0~2.6	370~890	1225~1240	540~550

一、碳(C)——在任何鋼中，含碳量的多少是決定鋼的硬度的高低的主要因素，也就是說鋼的硬度是隨着含碳量的增加而增高的。當然高速鋼也不能例外。因此高速鋼的含碳量必須相當高，才能保證得到很高的硬度。否則因為淬火後高速鋼的組織中還有相當數量的純鐵體存在，這種純鐵體組織是最軟的，因而不能達到理想的硬度。高速鋼的含碳量是在 0.7% 以上。含碳量較低的高速鋼也有一定的用途，它可以用來製造能夠耐熱而不需要很高硬度的東西，如熱鍛模等。

圖 1 是含碳量不同的 18-4-1 型高速鋼，加熱到 1260°C 淬火後，在不同的溫度回火硬度變化的情形。從這個圖上可以看出高速鋼的含碳量對於硬度變化的影響。

增加高速鋼中的含碳量，不但能夠得到最高的硬度，而且能夠增加鋼的赤熱硬度和耐磨性能。

二、鎢(W)——在高速鋼中鎢是一個很重要的元素，它可以跟碳或者其他元素化合成硬度很高的合金碳化物如 $(Fe, W)_3C$ 。這些含合金碳化物可以提高鋼的耐磨性能。同時鎢在高速鋼中又是獲得赤熱硬度的主要原因。

鎢加入鋼中還能增強鋼的韌性。因為鎢能使鋼的晶粒細緻，所以高速鋼不但很硬而且具有足夠的韌性，可以減少脆裂的危險。

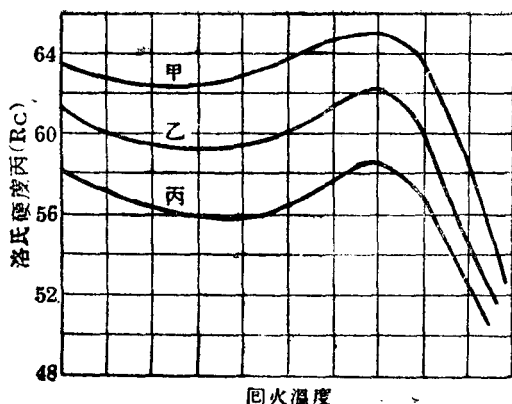


圖1 含碳量不同的18-4-1型高速鋼，淬火後在不同溫度回火的硬度變化：

甲—含碳量是0.70%；乙—含碳量是0.60%；

丙—含碳量是0.50%。

三、鉻(Cr)——鉻也是高速鋼中重要的合金元素之一，它的含量大約是3~5%。我們知道，除了鈷(Co)以外，所有的合金元素加入鋼中都能增加鋼的硬化性能。高速鋼所以能在空氣中淬硬，(即使是相當粗厚的材料在空氣中冷卻也能內外均勻地達到最大的硬度)，當然跟其他合金元素的加入也有關係，而鉻在其中却佔着首要的地位。

此外鉻在高速鋼中也有產生赤熱硬度的作用，並能防止或減輕處理時發生氧化作用。不銹鋼所以能够不銹(不發生氧化作用)，主要的原因也就是裏面含有相當多的鉻的緣故。

四、鈮(V)——鈮能够顯著地提高高速鋼刀具的切削能力。因為鈮跟碳的化合的能力很強，所以高速鋼中含鈮量增加，含碳量也要增加，只有這樣才能使足够的碳跟鈮化合而成碳化物，否則僅僅

增加含鈮量而含碳量固定不變，當含鈮量超過一定範圍以後反而會降低淬火後高速鋼的硬度。圖2是增加含鈮量(含碳量固定不變)對高速鋼硬度的影響，試樣是加熱到 1280°C 油淬的高速鋼，它的成分是：碳(C)0.64~0.80%，鎢(W)16.0~17.3%，鉻(Cr)3.76~4.05%。因此含碳量為0.70%，含鈮量為1.00%的高速鋼，每增加1%的鈮同時要增加0.2%的碳，這樣才能增加高速鋼的硬度和耐磨性能，同時提高了工具的使用壽命。

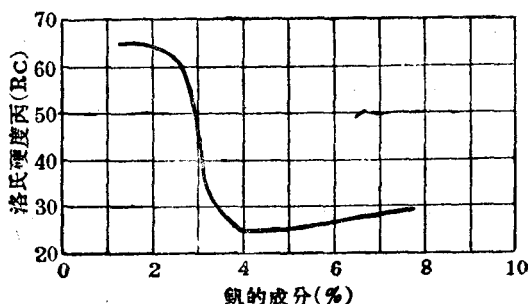


圖2 含碳量固定不變時，鋼的含鈮量對它的硬度的影響。

鈮在高速鋼中也有增加赤熱硬度的作用，同時能使鋼的晶粒變細，以得到很好的韌性。

除了上面所說的那些元素外，也有用鉬來代替鎢的，可以得到同樣的性能。每1%的鉬可以代替1.6~2.0%的鎢。不過加入鉬以後，容易使高速鋼發生脫碳作用，所以在熱處理的時候必須特別注意。高速鋼中還有其他元素如矽、錳等，這些元素的含量不應該超過0.40%，如果含量太高在淬火時容易發生脆裂的危險。硫和磷也是一樣，它們的含量不宜太高，以不損害鋼料的品質為原則（一般是 $\leq 0.40\%$ ）。這些元素在高速鋼中都不是主要的東西，所以也就不細說了。

二 高速鋼的熱處理

高速鋼工具在淬火之前必須經過退火處理。退火後不但對以後的熱處理工作有益而且可以消除工具由於粗加工或鉚接等而產生的內應力。把高速鋼工具退火時要加熱到 $870\sim 890^{\circ}\text{C}$ ，一般要停留 3~4 小時。使它的內部組織轉變成純鐵體及很多球狀的合金碳化物，這種組織是比較柔軟的。高速鋼工具經過退火後就可以進行淬火和回火。現在讓我們來看看每個過程的處理情形：

1 預熱 高速鋼工具在放到高溫爐中去加熱之前，必須先經過一次或兩次預熱，使工具各部分的溫度，能均勻地上升，這樣等到放入高溫爐中加熱時，只要很短的時間就可以淬火了。如果我們受爐子設備的限制只預熱一次，可以用比 760°C 高一點的溫度來預熱。不過爲了要得到更滿意的結果，最好預熱兩次，第一次的預熱溫度是 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，第二次的預熱溫度是在 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 。如果在鹽爐中加熱，第一次預熱時（低溫）所用的鹽液的成分是 33% 氯化鋇 (BaCl_2) + 34% 氯化鈉 (NaCl) + 33% 氯化鉀 (KCl)；第二次預熱時（中溫）所用的鹽液成分是 28% 氯化鉀 (KCl) + 72% 氯化鋇 (BaCl_2)，所以需要兩個鹽爐來進行工作。

高速鋼的預熱是非常重要的。爲什麼不能把冷的高速鋼工具直接放到高溫爐中去加熱呢？讓我們把原因說明一下

一、如果把冷的工具突然放到高溫爐中去，鋼的內外部分會形成了很大的溫度差，引起了嚴重的內應力，而使鋼有裂開或變形等情形發生，這在加熱大型的工具時特別嚴重。

二、高速鋼的淬火溫度在 1200°C 以上，如果在這樣高的溫度

保持的時間過久，容易使工件發生脫碳或者過熱的現象。如果先經過預熱，然後再放到高溫爐中去，那末只要很短的時間就可以使工具內外各部分均勻地加熱到所需要的淬火溫度，而縮短了在高溫爐內的加熱時間，減少了發生脫碳及過熱的危險性。

2 淬火 高速鋼的淬火可以分成高溫加熱和冷卻兩個步驟：

一、高溫加熱——高速鋼的淬火溫度是按它本身的化學成分來決定的。比如 P-18(18-4-1)型高速鋼的淬火溫度是 1280°C ，而 P-9 高速鋼的淬火溫度是 1240°C 。高速鋼的淬火溫度是很高的，差不多接近於它的熔點，在高溫時高速鋼內部的組織是奧氏體及一部分還沒溶解的碳化物。奧氏體是一種固溶體，在裏面溶解了很多的碳化物，就同水能溶解食鹽成為液體的食鹽溶液一樣，所不同的只是奧氏體是固體的溶液罷了。高速鋼必須加熱到這樣的溫度使奧氏體中溶解更多的碳化物，經過淬火後才能得到最大的硬度。

在高溫加熱時必須要有很精確的高溫計來控制爐內的溫度。如果加熱溫度低了，淬火後得不到需要的硬度；但是加熱的溫度如果太高，可能使鋼的晶粒粗大，而且晶粒的邊緣部分熔化發生過熱的現象，這種現象的發生，會使鋼的性質變脆，而沒有方法來補救。

高速鋼的高溫加熱可以在密閉式的爐子或是電熱爐中進行，不過為了防止有氧化作用發生，最好通入保護氣體。在鹽爐中加熱最為妥當，因為工具在鹽液中加熱時沒有跟空氣接觸，所以不會有氧化現象發生。用鹽爐加熱時可以採用氯化鋇(BaCl_2)鹽，它的熔點是 950°C ，應用範圍在 $1000\sim 1350^{\circ}\text{C}$ 。氯化鋇可以溶在水裏，所以工具由鹽爐中取出淬火後，很容易把黏在工具表面的一層鹽用水洗淨，這也是一個有利的條件。鹽爐中鹽液的成分(不論用任何

鹽類)必須純潔,同時也要保持鹽爐的清潔,因為有了雜質存在對工具表面是不利的。

在這裏必須提起大家注意一點,高速鋼在高溫加熱時很容易發生脫碳作用。所以在退火、預熱及高溫加熱時最好都在鹽爐中進行。如果我們沒有這些設備,用別的爐子當然也行,不過要設法控制爐子內部氣體的成分。在高速鋼工具的表面塗一層硼砂,也可以避免發生脫碳的危險。塗硼砂的手續是把硼砂裝在一個鐵鍋或者其他能耐熱的器具中,加熱到 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$,使它熔化,然後再把加熱到 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的高速鋼工具浸在熔化的硼砂熔液內,隔幾秒鐘後從熔液中取出工具,硼砂就凝結在它的表面上了。

二、冷却——高速鋼加熱到高溫停留一段時間後,便可以從爐子中取出進行冷却。冷却的方法可以分為以下三種:

1)在空氣中冷却:高速鋼在空氣中冷却,就可以得到很高的硬度,這是最省事的一種方法。不過在空氣冷却時,高溫的工具跟空氣中的氧氣接觸,表面容易生成一層氧化皮。尺寸小的工具,或者淬火後還要經過表面噴砂處理的刀具,用空氣冷却對刀具的品質並沒有很大的影響。一般要求較高的高速鋼刀具如銑刀、鋸片、鑽頭等,最好直接淬入油中冷却。

2)淬入油中冷却:把工具直接淬入油中冷却,它的表面不會發生氧化作用。但是淬入油中的冷却的速度要比在空氣中冷却來得快,會使鋼的內部產生較大的內應力。為了避免這一缺點,我們可以把油冷和氣冷兩種方法合併來用,就是先把工具淬入油中冷却等工具在油中停留幾秒鐘,待溫度降低到 400°C 左右時,很快地把它取出在空氣中繼續冷却;這樣產生的內應力就可以少些。

3)熱浴冷却:這是一種常用的方法,就是把工具從高溫爐中取

出後，投入鉛爐或鹽爐中冷卻，爐子的溫度保持在 540°C 左右。鹽爐中鹽液的成分可以用第一次預熱所用的鹽液的成分。工具在鹽爐中停留到跟鹽液溫度的一致後，就可以取出放在空氣中繼續冷卻。這樣便可以減少內應力。比起第2法中的油冷和氣冷合併來用的方法，那是容易有把握的。因為工具在油中冷卻只有憑經驗來辨別工具已到什麼溫度，若不小心工具已降到 200°C 以下，那對內應力的減少是沒有多大益處的。

從上面所說的幾種冷卻方法中，我們可以看出高速鋼不需要急速冷卻，就可以得到很高的硬度，而且工具內部的硬度也並不低，這是因為高速鋼中含有大量的合金元素，使鋼的硬化性能大大增高的緣故。經冷卻後高速鋼的硬度可以達到洛氏硬度丙 (Rc) 64 左右。

3 回火 高速鋼經過淬火以後，它的內部組織包括有馬丁體，剩餘奧氏體和分佈在晶粒邊緣上的很多沒有溶解的碳化物。由於碳化物是很硬很脆的，剩餘奧氏體（高速鋼冷卻時有一部分奧氏體沒有轉變成馬丁體留在鋼中，這一部分奧氏體我們叫它做剩餘奧氏體）又是個很不穩定的組織，所以高速鋼在淬火後必須要經過回火處理，使不穩定的剩餘奧氏體經過回火後轉變為穩定的回火馬丁體，以消除淬火後的內應力。淬火後最好立刻進行回火處理，尤其是大件的工具更要小心，因為時間拖長了，由於內部淬火應力的作用，會造成碎裂的危險。

為什麼淬火後會產生很大的內應力和硬脆性呢？這一點不單是高速鋼，別的鋼經過淬火後也同樣有這種現象發生的。現在把內應力產生的原因，簡單的來說明一下，同時也可以解釋一下什麼是馬丁體的組織。我們知道鋼料加熱到淬火溫度後，它的組織是奧氏

體，鋼由奧氏體急冷(要超過臨界冷卻速度)下來，可以轉變成馬丁體。馬丁體是一種極堅硬的針狀組織，所以鋼在淬火後硬度很高。但是在形成馬丁體組織的過程中，體積是要膨脹的。如果冷卻時鋼料內外各部分同時轉變為馬丁體組織那就好了，可是事實上不可能是這樣的。因為鋼在冷卻時內外各部分的冷卻速度並不一樣，外部要比內部冷卻得快，所以當外部先冷卻到馬丁體開始生成點，而使鋼的體積發生膨脹時，內部的溫度還沒有降低到馬丁體生成點的溫度，體積還在繼續縮小；又等到內部的溫度也降低到點，而開始膨脹時，外壳已經變成非常堅硬的馬丁體組織，使內部體積的膨脹受到強烈的阻礙，這樣就會使鋼料內部產生很大的內應力。

現在讓我們來看看高速鋼是怎樣回火的。高速鋼的回火溫度，是按它的化學成分和用途來決定的。如果要求工具較高的硬度，回火溫度可以在 $540\sim 570^{\circ}\text{C}$ ，如果要求工具有較好的韌性，可以在 540°C 以下的溫度來回火。圖 3 是 18-4-1 型高速鋼加熱到

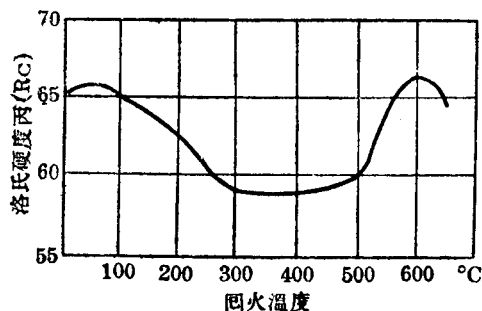


圖 3 18-4-1型高速鋼 1300°C 淬火後，回火溫度對它硬度的影響。

1300°C 淬火後，回火溫度對它硬度的影響。從這個圖上我們可看到增加高速鋼的回火溫度，硬度就會下降。當回火溫度超過 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 以後，它的硬度反而會升高。到了 600°C 時高速鋼的硬度達到了最高

點，甚至於比淬火後的硬度還要高。這種回火後變硬的現象，叫做

再硬化或第二回硬化。爲什麼有第二回硬化現象發生呢？這是因爲高速鋼淬火後內部組織並不完全是馬丁體，而還保留了一部分剩餘奧氏體，回火到 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 以上時，合金碳化物就從剩餘奧氏體中析出，同時使剩餘奧氏體轉變成馬丁體。

高速鋼回火後鋼中的剩餘奧氏體轉變成了馬丁體。在形成新的馬丁體的時候又要產生內應力和硬脆性，所以爲了澈底改善高速鋼的性質，需要再回火一次到二次，回火的溫度可以跟第一次相同。每次回火的時間一般是 $1\sim 2$ 小時。

由上面所講的情形，我們知道高速鋼的回火是很重要的，所以回火溫度必須準確和均勻，這一點跟所用的爐子有直接的關係，如果設備條件許可的話，最好是用鹽爐來加熱。回火鹽爐中的鹽液的成分是 5% 氯化鋇 (BaCl_2) + 29% 氯化鉀 KCl + 15% 食鹽 (NaCl) + 6% 氯化鈣 (CaCl_2)，它的熔點是 470°C ，也可以用跟第一次預熱時相同成分的鹽液。高速鋼也可在鉛爐中回火，鉛的熔點是 330°C ，應用範圍在 $300\sim 900^{\circ}\text{C}$ 之間，所以用起來很方便。但是它的缺點很多。刀具放在鉛爐中加熱時溫度升高得太快，容易引起破裂的危險。必須先把工具預熱到 300°C 左右，然後放到溫度在 420°C 的鉛液中，再緩慢地升高到回火溫度。在鉛爐中加熱時不要把爐溫升得太高，因爲在高溫時，鉛液的蒸氣是有毒的，對工作人員有害，最好在鉛液表面撒一層木炭粉，減少它的蒸發作用。回火時所用的鉛或鹽必須是純潔的，工具的表面也必須很清潔，不能有油污等物黏附在它的上面。

三 預熱和高溫加熱的時間

高速鋼在熱處理時需要在預熱溫度和高溫淬火溫度保持多少

時間，是一個十分要緊的問題，尤其是在高溫淬火溫度停留的時間更是要緊。我們不要認為多一兩分鐘沒有什麼關係，事實告訴我們，多一兩分鐘，工具就會有過熱的危險，也可能把工具燒得變了形。下面把蘇聯專家供給我們高速鋼在預熱和高溫加熱時所需的時間的計算方法介紹給大家。

表 2 是淬火工具預熱和高溫加熱時間的計算公式，我們可以根據這公式，再從表 3 中找到 a, b, c 參變數的數值代入得出所需要的加熱時間。

表 2 淬火工具預熱和高溫加熱時間計算的公式

工具的類型	到達預熱溫度所需的加熱時間 t_1 和 t_2 (分)		到達最後淬火溫度所需的加熱時間 t_3 (分)
	550~600°C	800~850°C	
螺絲攻、鉸刀、鑽頭、圓孔拉刀以及其他棒形工具	$t_1 = b \times D$	$t_2 = C \times D$	$t_3 = a \times D$
銑刀、鉸刀、平鑽頭 (尺寸 $\frac{D-d}{2} < h$)	$t_1 = b \frac{D-d}{2}$	$t_2 = C \frac{D-d}{2}$	$t_3 = a \frac{D-d}{2}$
圓板牙、銑刀、尺寸 $\frac{D-d}{2} > h$ 冷壓時用的銼模及方模	$t_1 = b \times h$	$t_2 = c \times h$	$t_3 = a \times h$
合金鋼製的圓孔拉刀在 III-55 及 I-95 號立式爐中加熱時	$t_1 = (d+h)b$	—	$t_3 = d+4$
圓錐材料的方孔拉刀，加熱情況跟上面相同	$t_1 = (h+4)b$	—	$t_3 = h+4$

註 加熱時間是根據工具主要部分截面的尺寸大小來計算的，採用的符號所代表的意義如下：D—工具切削部分的直徑螺絲攻、鉸刀、平鑽頭等，單位公厘；d—工具的內孔徑（圓柱形銑刀、鉸刀等）公厘；h—工具的高度或厚度（圓螺絲板牙）公厘；a, b, c—參變數。

表3 P-18, P-9高速鋼工具計算加熱時間
所用的參變數值a, b, c

爐子的類型	a	分/公厘	b 分/公厘	c 分/公厘
鹽 爐	0.17~0.18	0.15~0.17	0.35~0.50	0.30~0.35
密 閉 式 爐	0.25	0.35	2.0~2.5	0.8~1.1

從上面所介紹的公式中我們可以看出加熱時間是跟工具的形狀及厚度有很大的關係的。厚度大的所需要的加熱時間長；同時加熱的時間又跟所用的爐子類型有關，用鹽爐加熱要比在其他爐子中加熱需要的時間短些。

現在我們舉一個例子來說明如何利用上面的公式來計算所需的加熱時間。例如 P-18 高速鋼的鉸刀，切削部分的直徑(D)是 20 公厘，在鹽爐中預熱和高溫加熱時所需的加熱時間可以這樣求出：

一、第一次預熱——工具第一次預熱的溫度是在 $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。由表 2 中可以找到在第一次預熱時計算需要的加熱時間的公式是 $t_1 = b \times D$ ，這個公式的意義是加熱時間 t_1 等於參變數 b 乘上工具的直徑 D 。在表 3 中可以找到 $b = 0.50$ 。工具的直徑可以量得是 20 公厘，我們把這些數字代入公式中，結果是 $t_1 = 0.50 \times 20 = 10$ 。這就是說第一次預熱的時間需要 10 分鐘。

二、第二次預熱——工具第二次預熱的溫度是在 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 。從表 2 中可以找到 $t_2 = c \times D$ ，再從表 3 中查到 $C = 0.35$ 。把 C 值和 D 值代入公式中得到 $t_2 = 0.35 \times 20 = 7$ 。所以第二次預熱所需的時間是 7 分鐘。

三、高溫加熱——工具最後高溫加熱的溫度是在 1280°C 。從

表 2 找到 $t_s = a \times D$ ，同樣可以在表 3 中查出 $a = 0.18$ 。把 a 值和 D 值代入公式得 $t_s = 0.18 \times 20 = 3.6$ 所以高溫加熱的時間是 3.6 分鐘，我們可以用三分半鐘就行了。加熱的時候到了規定的時間後，必須馬上把工具從爐中取出進行冷卻。

*

*

*

上面已經把高速鋼的熱處理過程講完了。下面再用圖 4 來說明 P-18 高速鋼工具熱處理的步驟，這樣更可以幫助同志們對高速鋼的熱處理有一個整體的概念。

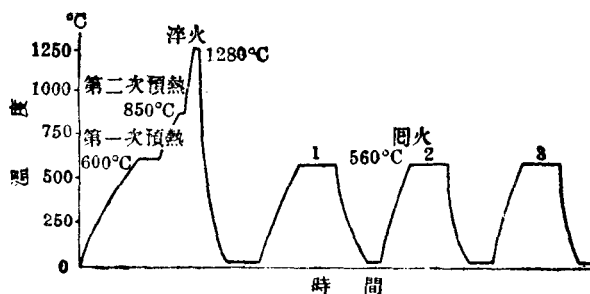


圖 4 P-18高速鋼的熱處理過程。