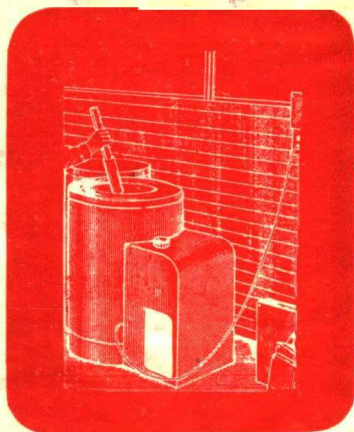


孫一唐編譯

鋼 的 冰 冷 處 理



機械工業出版社



工 業 技 術

*

編譯者：孫一唐 文字編輯：顏一琴 責任校對：周任南

1953年9月發排 1953年11月初版 00,001—12,000冊
書號0398-8-110 31×43¹/₃₂ 15千字 11印刷頁 定價1,000元(丙)

機械工業出版社(北京盛甲廠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	爲什麼要冰冷處理	1
二	冰冷處理的簡單原理	3
三	冰冷處理的應用範圍	5
四	冰冷處理的方法	8
	1 合金滲碳鋼冰冷處理的方法——2 高速鋼冰冷處理的方法——	
	3 中碳鋼和合金鋼冰冷處理的方法	
五	冰冷處理的設備	15
六	介紹一種穩定機件尺寸的新方法	18

一 爲什麼要冰冷處理

有許多機件要求硬度很高，所以淬火以後希望得到堅硬的馬丁體組織。但是事實上要淬到最大硬度，使機件內部組織統統轉變爲馬丁體，是很難辦到的。換句話說，鋼從淬火溫度冷卻到室溫溫度（在 20°C 左右），總還有一部分奧氏體保留着沒有轉變。這部分餘留下來的奧氏體，我們就叫它做「剩餘奧氏體」。

我們知道，奧氏體是相當軟而具有延展性的。淬火後的鋼裏有剩餘奧氏體存在，對機件的性質有很大的影響，硬度也自然就不會高了。還有一點值得注意的，就是剩餘奧氏體很不穩定，在室溫情況下，它是會繼續分解的（但是分解的速度非常慢），如果經過長時間的停留（幾個月或幾年），慢慢地會全部或大部轉變爲馬丁體。這樣的變化，特別在製造精密工具（如樣板、沖模等）時很不利。一方面因爲奧氏體要慢慢地轉變，就不能立刻得到最大的硬度；另一方面奧氏體轉變爲馬丁體時，體積會膨脹，使工件的尺寸不穩定，容易引起變形，不能長期保持原來的形狀和準確度。當然，我們也可以用回火（即配火）方法（一次或多次回火）來使剩餘奧氏體轉變。但是經過多次回火以後，剩餘奧氏體還是不能完全轉變；而且因爲回火溫度比較高，回火後得到的組織不是硬度高的馬丁體，而是性質軟韌的索氏體或是細珠光體等較軟的組織。

圖1是鋼件淬火時，冷卻到不同的溫度，內部組織中保留的剩餘奧氏體數量的變化。從圖上可以看到：奧氏體的轉變在溫度降低到室溫時並不停止；溫度愈低，剩餘奧氏體轉變爲馬丁體的數量也

愈多。中碳鋼及高碳鋼冷却到零度以下 120°C 左右才停止轉變，最後餘留 $0.5\sim 5.0\%$ 的剩餘奧氏體（這部分剩餘奧氏體數量很少，所以對機件性質的影響就不大了）。高速鋼及高合金鋼，在零度以下 65°C 便停止轉變，最後保留 $8\sim 15\%$ 的剩餘奧氏體。

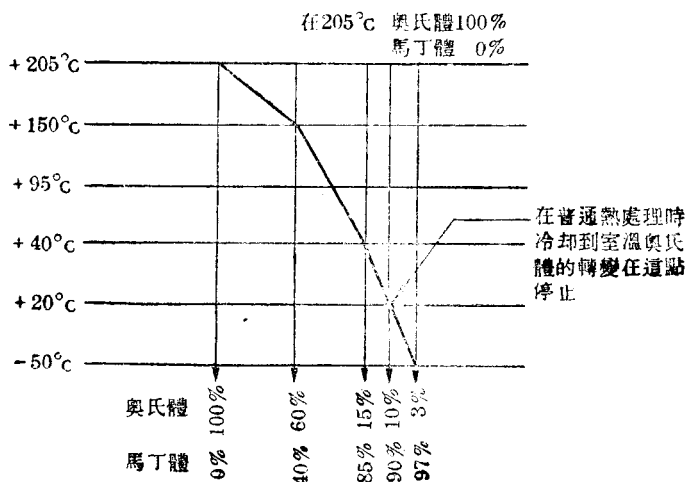


圖 1

所以我們如果把經過熱處理的機件，繼續冷却到零度以下，就是經過一次冰冷處理，使剩餘奧氏體全部或大部轉變為堅硬的馬丁體，那麼不但能夠得到我們所要求的堅硬性質，同時在以後長時間的工作中，尺寸也不會有任何變化，可以保證機件達到很好的品質。

根據蘇聯工廠實際工作的經驗，冰冷處理後可以使機件的強度增加，使耐磨能力提高 $15\sim 30\%$ 。

冰冷處理除了以上所說的功用外，還有其他許多特殊的用途，

這在下面是要詳細說明的。因為這個緣故，所以冰冷處理在工業上已經成爲一種先進的熱處理方法了。

二 冰冷處理的簡單原理

冰冷處理就是把鋼件放在一種冰冷劑如液體氧（冰冷溫度可以達到零度以下 180°C ）或者乾冰和酒精的溶液，或者特殊的冷卻器中（冷卻器的溫度從 -60 到 -80°C ），使溫度降低到零度以下，保持一段時間。鋼件可以在淬火以後，立刻進行冰冷處理，也可以在淬火以後二次回火的中間進行冰冷處理。

當熱處理的時候，先把鋼件加熱到淬火溫度，使鋼件內部的組織變成碳（C）跟鐵（Fe）的固溶體，這種組織就是我們所叫的奧氏體（關於這方面的說明，可以看機械工業出版社出版的機械工人活葉學習材料〔鋼料的基本知識〕）。在淬硬的過程中，鋼的組織是由奧氏體轉變爲馬丁體，也就是使鋼的性質由軟韌變爲堅硬而強度又大的。所以最理想的情形，就是希望在冷卻到室內溫度時，鋼的全部組織統統由奧氏體轉變爲馬丁體。但是在事實上，因爲受許多其他因素的影響（像冷卻速度、加熱溫度和鋼的化學成分），要使奧氏體在冷卻到室內溫度時，就全部轉變爲馬丁體，是不可能的（總有一部分奧氏體保留不變）。如果一定要使這部分奧氏體轉變，最好的辦法就是在熱處理以後，再經過一次冰冷處理，使剩餘奧氏體很快地全部分解，轉變爲堅硬的馬丁體。

爲什麼在淬火時，冷卻到室內溫度以後，鋼件內部所含的奧氏體還不能完全轉變完呢？讓我們先來弄清楚裏面的道理。我們知道，鋼件在冷卻到了一定的溫度，才開始有馬丁體出現，這個溫度就叫做馬丁體轉變開始點（通常用 M_s 來表示，俄文書中用 M_n 表

示)。繼續冷卻下來，馬丁體的數量就不斷地增多，一直到最後全部轉變為馬丁體為止，這時候，就達到馬丁體轉變終了點（通常用 M_s 表示，俄文書中用 M_k 表示）。各種成分不同的鋼， M_s 點和 M_f 點的位置也各不同。許多鋼的 M_f 點的位置在零度以下；所以要使奧氏體完全轉變，就必需要冷卻到室內溫度以下的 M_f 點，也就是要經過冰冷處理。否則就一定有一部分奧氏體保留不變。

一定成分的鋼，馬丁體轉變開始點和終了點（ M_s 和 M_f 點）的溫度和淬火溫度的高低有很大關係。淬火溫度愈高，馬丁體轉變開始點的溫度就愈低，所以冷卻以後，剩餘奧氏體的數量也愈多。譬如含碳 1.1%，鉻 2.8% 的合金鋼，加熱到 1040°C 淬火，冷卻到室內溫度，還有 50% 的剩餘奧氏體。如果淬火溫度降低到 925°C，那麼淬火以後，剩餘奧氏體的數量可以減少到 20% 左右。

表 1 是不同的淬火溫度對於 P 高速鋼^① 和 X12 鉻合金鋼^② M_s 和 M_f 點溫度的影響。

表 1 淬火溫度對於馬丁體轉變開始點和終了點的影響

淬火溫度 (°C)	馬丁體轉變開始點和終了點的溫度(°C)			
	P 高速鋼		X12 鉻合金鋼	
	M_s	M_f	M_s	M_f
900	—	—	400	+290
1000	300	+250	220	- 50
1100	200	- 30	80	-120
1200	150	- 80	0	-183
1300	120	-100	—	—

① P 高速鋼含碳 0.66~0.78%，鎢 17~19.5%，鉻 3.8~4.6%，錳 0.5~0.8%。

② X12 鉻合金鋼含碳 2.0~2.3%，鉻 11.5~13%。

冰冷處理的時候，有一點要特別注意的，就是鋼料在冰冷處理以前，千萬不要在室溫停留，最好在淬火或者回火以後，立刻進行冰冷處理。如果在冰冷處理之前，在室溫停留了一段時間，會使奧氏體更穩定，增加在冰冷處理時奧氏體轉變的困難，因而，也就減少了冰冷處理的效果。

三 冰冷處理的應用範圍

最近幾年，冰冷處理在蘇聯各工廠中的應用範圍日見增多；特別在製造切削刀具和量具（樣板、驗規）方面採用的更廣。總結起來冰冷處理共有十大用途。從這裏也可以看出，冰冷處理在整個熱處理過程中佔相當重要的位置，在今後祖國大規模經濟建設中是有很大發展前途的。

一、切削刀具經過冰冷處理以後，硬度和耐磨能力大大提高，結果使生產效率和使用壽命比較只經過普通熱處理的刀具增加了4~5倍，甚至於十數倍。舉個例說，直徑8公厘的高速鋼鑽頭，鑽硬度在布氏(HB) 387的鎳鉻合金鋼件，（鑽速是450轉/分，進刀量是125公厘/分），如果用只經過普通熱處理的高速鋼鑽頭，鑽了48個孔，鑽頭的刀口就變鈍了，需要重新研磨；如果把高速鋼鑽頭在零度以下50℃冰冷處理2小時，鑽孔的數目平均提高到256個，也就是說使用壽命增加了五倍多。

二、度量工具（如驗規、樣板等）要求的精密度很高，在製造以後的長時間使用中，尺寸不能發生變化。老的法子用天然時化法，把量具放在倉庫裏停留6個月到18個月，使各部分的尺寸經過長時間的停留，而變得穩定。但是這種法子效果不好，不能使量具的尺寸完全穩定。如果用冰冷處理，把量具的溫度降低到零度以下

50°C 停留 2 小時，可以保證在以後使用時尺寸不再發生任何變化。這樣做不但效果很滿意，而且在時間上又可以縮短百數十倍。

三、精密的滾柱軸承和滾珠軸承，經過冰冷處理以後，表面的硬度大大增加，各部分的尺寸又可以完全穩定。

四、合金滲碳鋼製的機件（例如重要的齒輪），經過冰冷處理後，表面的硬度和強度都有增加，變形可以減少；這樣在工作時，就不會有噪音發生。

五、經過氰化處理的高速鋼刀具和結構鋼製的機件，如果經過冰冷處理，硬度和使用壽命更可以提高。

六、有些鋁合金機件（例如鉚釘），經過冰冷處理以後，硬度和強度大大增加，衝擊強度和面積縮減率降低。

七、合金高碳鋼經過普通熱處理以後，內部組織中保留有很多的剩餘奧氏體。這些剩餘奧氏體很穩定，在回火的時候不容易發生變化。如果先經過一次冰冷處理，再進行回火，可以加速剩餘奧氏體的轉變。

因為我們總希望在淬火以後得到堅硬的馬丁體，如果在鋼內還含有大量的剩餘奧氏體的話，結果使機件的性質變軟，就不合乎我們的要求了。

八、磁鋼（帶有磁性作用，可以做永久磁鐵用，在電機製造工業上，佔很重要的地位）經過冰冷處理後，可以提高它的磁性性質（提高 2～3 倍）。

九、不銹鋼件（例如外科醫生用的工具）經過冰冷處理後，硬度可以提高。

十、有些製件，在裝配時要求是「過盈配合」（像火車車輪跟輪殼，軸承的內圈，齒輪跟軸的配合等等都屬於這一類）。過去多用壓

床壓進去，或者用噴燈（火焰噴燈）把套在外面的一個機件加熱，使它受熱膨脹，尺寸增大，然後再安上裏面一個機件，等到受熱的機件，溫度降低，尺寸也縮回到原來的大小，這樣，二個機件就緊緊地裝配在一起了。但是用壓床或噴燈都有缺點。用壓床壓起來非常不方便，用力過大往往容易把機件壓裂，即使沒有壓裂也會在機件表面壓出幾條粗痕來。如果用噴燈加熱，毛病就更大了，一不小心，加熱溫度太高，有局部退火的危險；另外，還容易有氧化作用和變形的危險。所以精密的機件，多改用冰冷處理，把安在裏面的一個機件，冰冷到零度以下 20 到 50°C，保持 10~60 分鐘，使它尺寸縮小；裝配以後，溫度回到原來室溫時，縮小的尺寸又變大，二個機件就緊緊的裝配在一起了。

表 2 和表 3 是各種合金冰冷到零度以下 15°C 和 50°C，每 25 公厘直徑，尺寸縮小的程度，在實際工作時，可以用來參考。

表 2 每 25 公厘直徑從零上 20°C 冰冷到零下 15°C，尺寸縮小的程度（公厘）

工具鋼	0.0200
磷青銅	0.0300
鋁青銅	0.0300
黃銅	0.0350
鋁	0.0425
錳	0.0425

表 3 每 25 公厘直徑從零上 20°C 冰冷到零下 50°C，尺寸縮小的程度（公厘）

工具鋼	0.0325
磷青銅	0.0450
鋁青銅	0.0450
黃銅	0.0500
鋁	0.0575
錳	0.0585

例 有一個軸承（鋼），直徑是 150 公厘，冰冷到零度以下 15°C，尺寸縮小了多少？

解 $\frac{150}{25} \times 0.020 = 0.12$ 公厘

答：尺寸縮小了 0.12 公厘。

同樣大小的軸承，如果冰冷到零度以下 50°C ，縮小的尺寸就增加到 $\frac{150}{25} \times 0.0325 = 0.1950$ 公厘。

四 冰冷處理的方法

1 合金滲碳鋼冰冷處理的方法 許多重要的機件，如汽車齒輪，軸承圈等，要求表面硬度高，耐磨能力好，都用合金滲碳鋼來製造。合金滲碳鋼經過淬火以後，在表面滲碳層中有大量剩餘奧氏體存在，所以硬度就很低，達不到我們所要求的性質。像 18XHMA 合金滲碳鋼（面層含碳量在 0.6%），滲碳以後直接淬火，結果表面硬度只有洛氏丙（ HRC ）50。如果再經過冰冷處理，把溫度降低到零度以下 60 到 100°C ，使面層的剩餘奧氏體分解，表面硬度就可以提高到洛氏丙（ HRC ）60 以上了。

表 4 是 18XHMA 鋼冰冷處理後的機械性質和普通熱處理後機械性質的相互比較。

表 4 18XHMA 冰冷處理後的機械性質和普通熱處理後的機械性質的相互比較

熱處理方法	比例極限 ($\frac{\text{公 斤}}{\text{平方公厘}}$)	降伏強度 ($\frac{\text{公 斤}}{\text{平方公厘}}$)	抗張強度 ($\frac{\text{公 斤}}{\text{平方公厘}}$)	延伸性 (%)	面積減縮率 (%)	衝擊強度 ($\frac{\text{公斤-公尺}}{\text{平方公分}}$)
普通熱處理	111.2	120.5	130.0	15.0	65.3	12.5
	116.2	122.7	131.8	15.0	65.3	9.5
	121.0	128.1	132.5	13.8	63.3	12.3
普通熱處理 後再冰冷到零度以下 183°C	124.3	130.0	130.0	13.3	62.7	13.0
	118.0	124.5	135.5	15.0	60.7	11.5
	112.0	120.5	133.2	13.3	60.7	13.75

一般機件在淬火以後，冰冷處理以前，最好先在 $180 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 低溫回火一小時，把淬火應力消除。

冰冷處理以後，一部分剩餘奧氏體又轉變為馬丁體。在轉變的

表 5 是冰冷處理對於各種合金滲碳鋼 (12X2H4A、18XHMA、18XГM 和 18XГT) ① 機械性質和耐磨性能的影響。試樣的尺寸是

鋼 號	機 械 性 質										
	冰 冷 處 理 以 前					冰 冷 處 理 以 後					冰 冷 處 理 後 耐 性 磨 損 能 提 高 的 百 分 比 (%)
	抗 張 強 度 (公 斤/平 方 公 厘)	撓 度 (公 厘)	衝 擊 強 度 (公 斤-公 尺/平 方 公 厘)	洛 氏 硬 度 C	磨 耗 量 (公 厘 ³)	抗 張 強 度 (公 斤/平 方 公 厘)	撓 度 (公 厘)	衝 擊 強 度 (公 斤-公 尺/平 方 公 厘)	洛 氏 硬 度 C	磨 耗 量 (公 厘 ³)	
12X2H4A	222	2.6	15.3	58~59	5.75	191	2.2	13.1	58~64	3.99	32
18XГГ	252	2.95	3.35	57~58	2.85	230	2.75	2.4	60~63	2.38	16
18XHMA	257	4.07	10.5	46~50	3.85	186.3	2.9	7.27	61~61	2.38	38
18XГМ	202	2.4	3.5	58.5~59.6	3.90	177	1.68	1.82	60~61	2.45	37

2. 熱處理的方法：滲碳以後直接淬火，在 150°C 低溫回火。

鋼 號	化 學 成 分* (%)					
	碳	錳	矽	鎳	鉻	其 他
12X2H4A	≤0.17	0.8~0.6	0.17~0.37	3.75~3.25	1.25~1.75	—
18XГГ	0.18~0.24	0.8~1.1	0.17~0.37	0.4	1.0~1.3	0.08~0.15 鈹
18XHMA	0.14~0.21	0.25~0.55	0.17~0.37	4.1~4.5	1.35~1.65	0.2~0.3 鉬
18XГМ	0.17~0.24	0.8~1.1	0.15~0.30	—	0.9~1.2	0.2~0.3 鉬

9

120×10×10 公厘。

從表上可以看到，在冰冷處理以後，由於剩餘奧氏體分解為馬丁體，結果使耐磨性能提高，但是抗張強度降低了一些。

下面來介紹蘇聯斯大林汽車工廠 18XHMA 鋼製的齒輪的熱處理方法。

詳細的操作步驟如下：

一、在連續式氣體滲碳爐中加熱到 920~930°C，保持溫度 8 小時，滲碳深度 1.5 公厘（滲碳時間根據要求的滲碳深度而定）。

二、滲碳以後，把齒輪的溫度從滲碳溫度降低到 800°C，在 800°C 保持 10 分鐘，使齒輪各部分的溫度均勻，然後從爐子中取出來直接淬入油中或放在空氣中冷卻。

三、在 160°C 回火 2 小時，以消除淬火後所生的內應力。

四、清洗乾淨（如果是用油爐回火，在齒輪的表面一定附有油垢，所以回火後要用鹼水把齒輪表面的油垢洗乾淨）。

五、在零下 183°C 保持 1~2 小時進行冰冷處理（在液體氮中）。

根據工廠的經驗，在 -183°C 冰冷處理 1 小時，齒輪的硬度可以從洛氏丙(HRC)51.5（淬火和回火後的硬度）提高到洛氏丙(HRC)56。如果在 -183°C 保持 2 小時，硬度可以提高到洛氏丙(HRC)62.5。

六、在 160°C 回火 2 小時。

經過冰冷處理的齒輪的機械性質，要比用普通淬火回火處理的齒輪的機械性質來得好。從前面表 4 上的數字已經可以完全看到這一點了。

還有一點要提出來的，同樣成分的鋼料，經過不同方法的熱處理以後，得到的硬度也不相同。圖 2 是四種不同熱處理方法對於

18XHMA 鋼表面滲碳層硬度的影響。

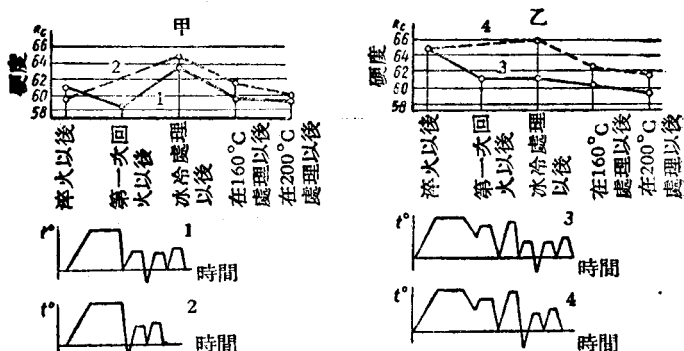


圖 2 冰冷處理(到零下 183°C) 對於 18XHMA 鋼表面滲碳層硬度的影響:

甲——滲碳以後直接淬入油中冷却,最後再經過一次冰冷處理;

乙——滲碳以後放在爐中緩冷下來,再加熱到 $790 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 油淬,最後進行冰冷處理。

四種不同的熱處理方法是(圖 2):

方法 1: 機件滲碳以後,經過一次回火,以消除淬火應力,然後進行冰冷處理。在冰冷處理以後再回火一次,使內應力完全消除。

方法 2: 滲碳以後直接淬火,不先回火,接着就進行冰冷處理。

方法 3: 冰冷處理後再回火。滲碳以後,爲了提高機件表面層和心部的性質,採取二次淬火法,經過二次淬火後,先回火一次,然後冰冷處理,冰冷處理後再回火。

方法 4: 滲碳和二次淬火以後,不先回火,立刻進行冰冷處理,然後再回火。

2 高速鋼冰冷處理的方法 各種高速鋼切削刀具,經過冰冷處理以後,工作效率和使用壽命大大提高;比較只經過普通熱處理的高速鋼刀具的使用壽命要提高四、五倍,甚至於提高到十倍以上。

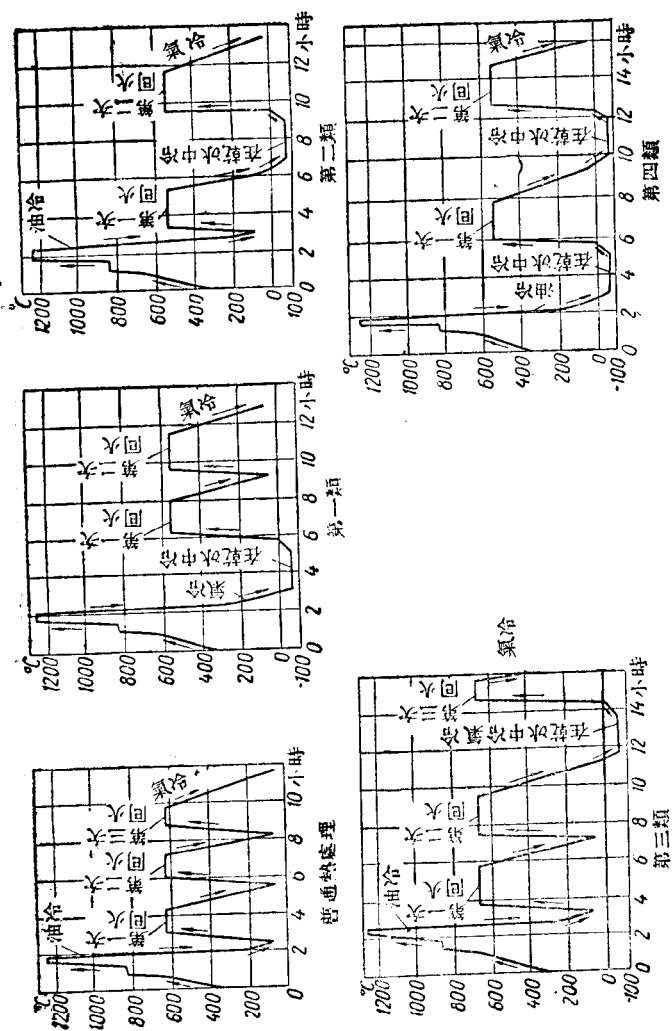


圖 3 高速鋼幾種不同的熱處理方法

表 6 和表 7 是高速鋼刀具經過不同方法熱處理以後，刀具使用壽命的相互比較。所採用的熱處理方法可以用圖 3 的圖解方法來表示。

表 6 不同的熱處理方法對於切削刀具使用壽命的比較

(預熱到 870°C ，最後加熱到 1280°C ，淬入 515°C 鹽槽中，在這個溫度保持 3 小時，進行等溫處理；之後冰冷到 -80°C 停留 2 小時；最後加熱到 565°C ，回火 2 小時。)
(切削的鋼料的硬度是洛氏丙 (H_{RC}) $38\sim 41$)

熱處理的方法	使用壽命的比較(%)
淬火以後，回火二次	100
淬火，冰冷處理，二次回火	117.5
等溫淬火，冰冷處理和二次回火	122.8
淬火，回火，冰冷處理，再回火	145.7
等溫淬火，回火，冰冷處理，再回火	128.1
等溫淬火，二次回火，最後冰冷處理	131.5

表 7 $\text{p}\Phi-1$ 高速鋼刀具經過不同方法熱處理以後，對使用壽命的影響。($\text{p}\Phi-1$ 的成分是含碳 0.72%，矽 0.32%，錳 0.31%，鉻 4.8%，鎢 18.05%，鈮 1%。)

(切削的鋼料是 50A 鋼，硬度在布氏 (H_B) $220\sim 270$ ，切削速度 18 公尺/分，進刀量 0.65 公厘/轉，切削深度 1.4 公厘)

熱處理的方法(參看圖 3)	到重磨為止的使用壽命 (小時)			使用壽命 提高的百 分比%(平均值)
	第一次	第二次	第三次	
普通熱處理	8.38	7.5	8	100
淬火以後冰冷處理(第一類)	10.88	9.8	10	122
冰冷處理在二次回火之間(第二類)	10.75	11.16	4	133
冰冷處理在第二次與第三次回火之間 (第三類)	14.44	18.83	15	180
在淬火和一次回火後都經過冰冷處理 (第四類)	14.83	18.85	15	180

圖 3 共有五種處理方法，第一種是普通的熱處理方法，是在 1250°C 加熱後，淬入油中冷卻再經過三次回火，其餘四種分四類說明如下：

第一類是淬火以後，立刻冰冷處理，最後再進行二次回火。從實際工作中證明，淬火以後，立刻冰冷處理，容易引起很大的內應力，使鋼件開裂。最好在淬火以後，先經過一次或二次回火，使淬火應力消除，這樣再進行冰冷處理，就可以減少開裂的危險。在冰冷處理以後，再回火一次，可以使內應力更徹底地消除掉。

表 8 高速鋼熱處理的方法對剩餘奧氏體的影響

(加熱到 1290°C 油淬，在 560°C 回火 2 小時，然後放在乾冰中冷卻到零下 78°C。)

熱 處 理 的 方 法	剩餘奧氏體的數量(%)						
	淬火	冰冷處理	第一次回火	冰冷處理	第二次回火	冰冷處理	第三次回火
普通熱處理	27	—	24	—	16	—	10
第一類(淬火後立刻冰冷處理)	27	12	9	—	5	—	—
第二類(第一次回火後冰冷處理)	27	—	23	19	9	—	—
第三類(二次回火後冰冷處理)	27	—	24	—	16	8	0
第四類(淬火和第一次回火後各進行一次冰冷處理)	27	12	9	7	0	—	—

第二類是在淬火以後先回火一次，然後再冰冷處理；冰冷處理以後，再回火一次。這種方法所得的結果很好。

第三類是在淬火以後回火二次，再進行冰冷處理，冰冷處理以後，又回火一次。

第四類是在淬火以後，立刻冰冷處理；之後回火一次，再冰冷處理；最後再回火一次。

高速鋼用上面所說的不同的方法熱處理以後，內部保留的剩餘奧氏體的數量也不同。表 8 是不同方法熱處理後對於高速鋼中