

# 熱處理技術的過去與未來

吳炳南

## 摘 要

熱處理為當今步向尖端科技之機械製造過程中，頗感困難以及急待解決之工程之一。熱處理性優者可提高製品之精度，並增長壽命。反之，不良者常致成製品變形、裂痕、脆性、硬度不良等現象，而影響精度及壽命。

本文在述說過去卅年熱處理技術的發展歷史及今後的進展。俾提供讀者及從事熱處理者參考之用。

## 前 言

大家都知道，熱處理技術可以說是日新月異。回顧此技術三十年發展，因此推想今後之進度與發展也頗具意義。熱處理者，一般而言大致可區分為完全淬火與表面淬火兩種。完全淬火為加熱處理物的全部，然後浸漬淬火，詳細再加以區分則有普通熱處理與恆溫熱處理兩種。表面淬火即指處理表面的熱處理而言，可分類為表面硬化、強化及潤滑化三種。其中表面強化與表面潤滑化是以肥粒鐵狀態（ $A_1$  變態點以下的溫度）處理，是故又特別稱之為溫處理。此外，還有稱為冷處理的方法，以零下溫度處理。因此，所謂熱處理（thermal processing）者，可分類為三，即熱處理（heat treatment）、溫處理（ferritic treatment）及冷處理（cold treatment）是也。按此分類，將過去三十年之發展與今後進展為圖表而表示於表 1。接著加以概略地說明。

### 【 1 】過去 30 年的發展歷史

#### 1.1 普通熱處理（conventional heat treatment）

##### 1.1.1 中斷淬火（interrupted quenching）

對普通熱處理來說，30 年發展歷史中足以特別提起的應該是中斷淬火（時間淬火，time quenching）吧。為了避免加熱時的裂開，或減少彎曲，必須將  $M_s$  點以下慢慢且均勻的冷卻。 $M_s$  點從鋼的化學成份可以計算出來，即

$$\begin{aligned}
 M_s \text{ 點 } (^\circ\text{C}) &= 550 - 350 \times \% \text{C} - 40 \times \% \text{Mn} - 35 \times \% \text{V} - 20 \times \% \text{Cr} \\
 &\quad - 17 \times \% \text{Ni} - 10 \times \% \text{Cu} - 10 \times \% \text{Mo} - 5 \times \% \text{W} \\
 &\quad + 15 \times \% \text{Co} + 30 \times \% \text{Al} + 0 \times \% \text{Si}
 \end{aligned}$$

在淬火當中須「快冷卻、慢冷卻」，即在冷卻當中要變換冷卻速度。此冷卻速度的變換，用冷卻時間來控制的淬火方法，叫做時間淬火。就是起初用水施行冷卻，經過適當時間之後，抽出來放入油中或空中冷卻，所以也叫做中斷淬火。

此淬火的要點在不要誤掉抽出來的時間，其判定法有下列諸種：

表 1. 熱處理技術的過去與未來

大致區分	詳細區分	過去 30 年的發展歷史	未來的進展
熱處理	完全淬火	中斷淬火 (時間淬火) 遲延淬火 ( $T_A$ 與 $T_0$ 的相差) 鹽水淬火 (NaCl 10%) 淬火性的有效運用 低溫淬火硬化 麻應力處理 回火 (低溫、高溫、反覆)	3S 熱處理 (2S 熱處理) 真空淬火 (油冷、加壓、瓦斯冷卻) 流動床爐淬火 鍛造淬火 水溶性淬火液
	恒溫熱處理	麻淬火 改良麻淬火 Ms 淬火 沃斯回火 (B 淬火、B 回火)	加工熱處理 (T.M.T., H.T.T.M.T.) 昇溫沃斯回火 C.C.T curve 的有效運用
熱處理	表面硬化熱處理	表面淬火 (HOI、HQF) 滲碳、氮化、水蒸氣處理 表面滲覆 (atom, T-D, P.V.D., C.V.D., 硼化)	電腦熱處理 L.B., E.B., 衝擊淬火 熔融表面硬化法 高週波電阻加熱淬火 (IR 淬火) 高週波液加熱淬火 高週波一次淬火 真空滲碳，離子滲碳 N <sub>2</sub> 基的氣氛熱處理

溫 處 理	表面 淬 火	表面強化 熱處理	塩浴軟氮化 (Tufftride, sursulf) 瓦斯軟氮化 (nitemper, uninite 等)	離子氮化 氧-氮化處理
		表面潤滑 化熱處理	低溫滲硫 (caubet 法) 高溫滲硫 (sulfnitriding)	同 左
混合熱處理			鍍熱處理, 淬火鍍。 複合熱處理	
冷 處 理	深冷 處理	普通深冷 ( -80℃ ) (乾冰)	超深冷 ( -196℃ ) (液態氮), 深冷急熱處理	
其 他	矯正 彎曲	加壓、淬火 加壓、回火	加壓、深冷 $\gamma_R, \sigma_R$ 的有效運用	

備考：3S 熱處理…… SURE, SAFETY, SAVING (確實, 無公害, 節省能源) 熱處理。

2S 熱處理…… SAFE and SAVE (無公害, 節省能源) 熱處理。

T.M.T. …… THERMO-MECHANICAL-TREATMENT (加工熱處理)

H.T.T.M.T. …… HIGH TEMPERATURE

T.M.T. (高溫加工熱處理)

L.B. 淬火……雷射淬火

E.B. 淬火……電子束淬火

$\gamma_R$  …… 殘留沃斯田鐵

$\sigma_R$  …… 殘留應力

①材料的直徑或厚度, 每 3 mm 放在水中時間為 1 秒, 然後拿出油冷 (或空冷)。此 3mm 1 秒法是作為不裂且硬的淬火方法, 目前廣泛被實用化。

②振動、聲音停止的瞬間, 拿出來油冷 (或空冷)。

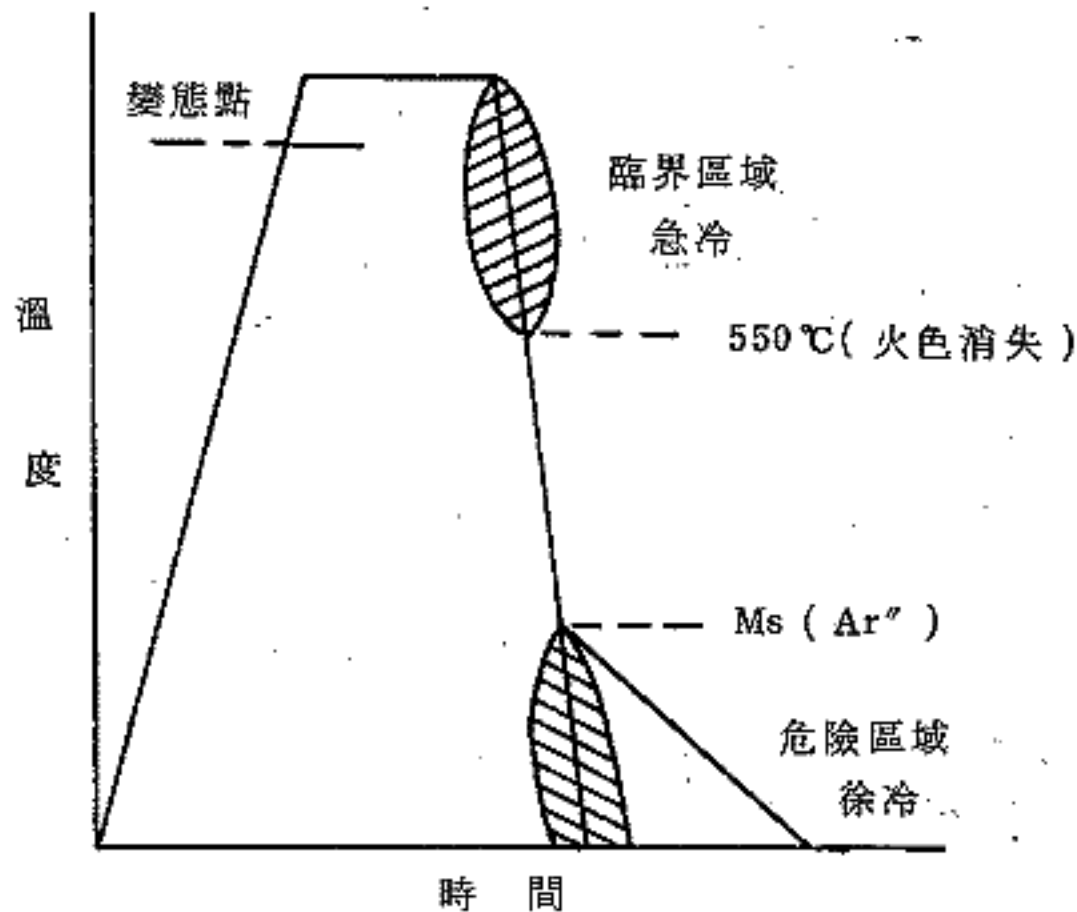
③在水中的時間, 為消失火色的時間的兩倍, 以後抽出來油冷 (或空冷)。

在油淬火的時候，也不要一直放在油中完成冷卻，應該：

① 油的沸騰停止之後，拿出空冷。

② 材料的直徑或厚度，每 1mm 以 1 秒的比率放入油中，然後拿出空冷。

此種中斷淬火即是臨界區域速冷，而危險區域（ $M_s$  點以下）須慢慢冷卻，故可以達到不裂且硬之淬火。第 1 圖為中斷淬火的操作要領。



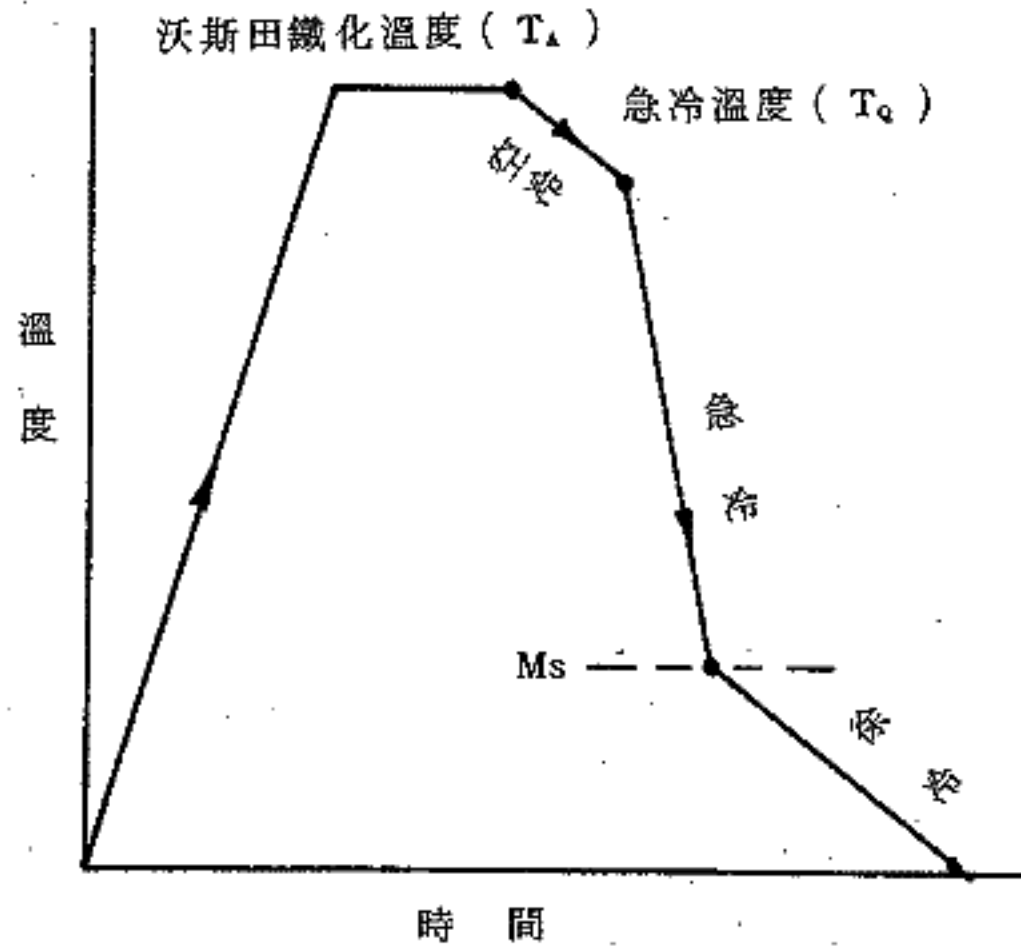
第 1 圖 淬火的要領

### 1.1.2 遲延淬火 (delayed quenching)

這是淬火溫度與急冷溫度區分而想出來的，但有實踐性淬火技術。過去，一般所謂淬火溫度，分為沃斯田鐵化溫度 ( $T_A$ ) 及急冷溫度 ( $T_Q$ )，這一點可謂革新。迄今一般認為淬火溫度即急冷溫度，故應當從淬火溫度取出立即放入淬火液，此種淬火作業，被視為實在是急促的作業。然而由於方法的明瞭，若是一旦改為沃斯田鐵化，則投入淬火液的溫度，就是急冷溫度 ( $T_Q$ )，此約低於  $100^\circ\text{C}$  (這由 S 曲線也可加以說明)。即  $T_A - T_Q \doteq 100^\circ\text{C}$ ，而因有  $100^\circ\text{C}$  的餘地之故，故淬火作業不必太急忙。因此，不稱為淬火溫度，而全部統一為沃斯田鐵化溫度 (austenitizing temperature) 為淬火的最高加熱溫度，並且投入於淬火液的溫度為急冷溫度 ( $T_Q$ )，於是從  $T_A$  不必急然投入淬火液，等到降低  $100^\circ\text{C}$  以

後也可以。總之，淬火是不慌不忙慢慢的，原來之中斷淬火可稱為是要領，但如此之淬火就可稱為遲延淬火了。因此，以往之淬火循環最好是改以第 2 圖來區別。此種方法可以減少淬火後之彎曲，使淬火操作容易，並且以此應用在油淬火時，有如下長處，比起從  $T_A$  忽然加以油淬火的情形，其硬度更可提高。

沃斯田鐵化溫度 ( $T_A$ ) 是依鋼之化學成分而異，其大略之傾向如表 2 所示。



第 2 圖 遲延淬火

表 2. 添加元素 1 % 時， $T_A$  之變動

	A <sub>1</sub> 變態點 ( 723 °C )		A <sub>2</sub> 變態點 ( 910 °C )	
⊕ °C	Si	22	Si	31
	Cr	23	V	38
	W	50		
	Mo	70		
⊖ °C	C	0	C	220
	Mn	14	Cr	2
	Ni	15	Ni	23
			Mn	35

例如在現場常說淬火溫度 800 °C，或者 800 °C 淬火，到底這代表著什麼意思呢？淬火溫度 800 °C 是表示加熱溫度至 800 °C 所作之淬火。假若此句話沒問題，那麼 800 °C 淬火則表示淬火溫度是 800 °C 時作淬火，亦即，將淬火液浸入時之溫度是 800 °C。因此，加熱溫度須加熱至淬火溫度之上，以便預留自加熱爐中取出到淬火槽間所下降之溫度。即加熱溫度變為 800 °C +  $\alpha$ 。假設下降溫度為 100 °C 時，則加熱溫度是 800 + 100 = 900 °C，投入淬火液時之溫度仍是 800 °C，此種說法即解釋 800 °C 淬火之意思。因此，淬火溫度 800 °C 與 800 °C 淬火之性質有很大之區別。

### 1.1.3 鹽水淬火 ( brine quenching )

水淬火時如有淬火軟點 ( soft spot ) 將令人困擾，這是水淬火時所發生的水蒸氣而造成的結果，稱之為輕結霜現象。為了防止軟點，一般被推薦使用 10% 的食鹽水。這 10% 的食鹽水不但可有效的防止淬火軟點，而且可使臨界區域內的冷卻速度變大 ( 約水淬火的兩倍 )，於是增大熱應力 ( thermal stress )，結果也可以防止淬火時的破裂。淬火時的破裂，由於熱應力 ( 壓力 ) 與 變態應力 ( 張力 ) 的合成應力而發生，故使熱應力大大的起作用，即可減少淬火時的破裂。鹽水淬火不但可以防止淬火軟點並可防止淬火時的破裂，對現場實在是良好的方法。再說，食鹽濃度以 10% 為適宜，而不可以超過 10% 或少於 10%。Rockwell 硬度的基準片 ( Standard block ) 是 SK5 製，而為了防止淬火軟點，有施以 10% 食鹽水淬火。因為有軟點，不能當作硬度基準片。

#### 1.1.4 硬化能的有效運用

淬火硬化通常有兩種，一為硬淬火，一為深淬火。

$$\text{硬淬火} = f ( C \% )$$

$$\text{深淬火} = f ( C \% , A , G )$$

硬淬火因鋼的 C % 而變化，但深淬火不只是 C %，合金元素 ( A ) 和沃斯田鐵 ( austenite ) 結晶粒度 ( G ) 也受到影響。這深淬火的性質就是硬化能 ( hardenability )。硬化能通常以記號  $D_r$  表示。 $D_r$  就是依據 C % 及合金元素的種類和百分率，並且沃斯田鐵結晶粒度可以算出來。因此，雖為同樣  $D_r$ ，可以組合各種合金元素，其成本也會變化。所謂適當材料就是成本低，而且必須能夠讓所須要的  $D_r$  滿足。由此觀之，鋼鐵材料是應該從 P ( price, 價格 ) 和 H ( hardenability, 硬化能 ) 選擇。再說，硬化能 H 由 Jominy 試驗的 H 曲線可以選定。因此，H 鋼的有效運用在目前以逐漸地興盛起來了。確實為了達到熱處理結果的均一性，使用這硬化能鋼 ( H 鋼 ) 甚佳，於是達成了硬化能有效運用的驚人進步。

#### 1.1.5 低溫淬火硬化 ( under-hardening )

所謂之低溫淬火硬化乃是將 SKH 材等由正規淬火溫度 ( 1250 °C ~ 1300 °C ) 降低至 1000 ~ 1100 °C，然後加以淬火之操作。簡言之，是一種低溫淬火，也該當於淬火不足。由於這低溫淬火硬化是高速鋼材 ( SKH 材 ) 等工具鋼而造成，雖硬且具有韌性的，因此比硬度更重視韌性的時候，往往這低溫淬火硬化有利。不要老是拿出規則來施熱處理。有時候，不依照慣例的熱處理也相當不錯的，這低溫淬火硬化正是出乎意料之外，目前應用在冷鍛用衝頭的淬火。可是，耐磨性能卻不及正規的淬火製品。

#### 1.1.6 N-DUR 法 ( N-DUR process )

這是巧妙地利用淬火時所發生的內部應力，於表層部殘留下壓縮應力的方法，又名麻應力 ( mar-stressing ) 處理。主要是淬火效果可以達到中心部的鋼，實用化對象例如 SUJ 2 等。其要領就是淬火硬化時，首先從處理品的中心部使之硬化。一般淬火在於表層冷卻得早，所以普通從表層開始變硬。然能使中心部開始變硬是需要一番工夫的。

一般而言，鋼中 C % 愈多，則  $M_s$  點愈降低，C 和 N 均具有相同的作用，故稱加鋼中的 N 其  $M_s$  點仍然會降低。於是乎淬火 SUJ 2 時，將 N 滲透於表面。如此狀態而淬火則雖中心

部冷却得晚，却因 $M_s$ 點有所不同，於是中心部先麻田化後表層接著麻田化，也就是首先從中心部開始變硬。是故爲了中心部的麻田散鐵（martensite），表層部的麻田散鐵受到壓縮應力，由於這殘留壓縮應力一般認爲轉動疲勞壽命可以延長1.5倍。滲碳零件的淬火從另一個角度來看，可以說是一種麻應力處理。總之，可謂殘留應力（ $\sigma_R$ ）的巧妙且有效的運用方法。

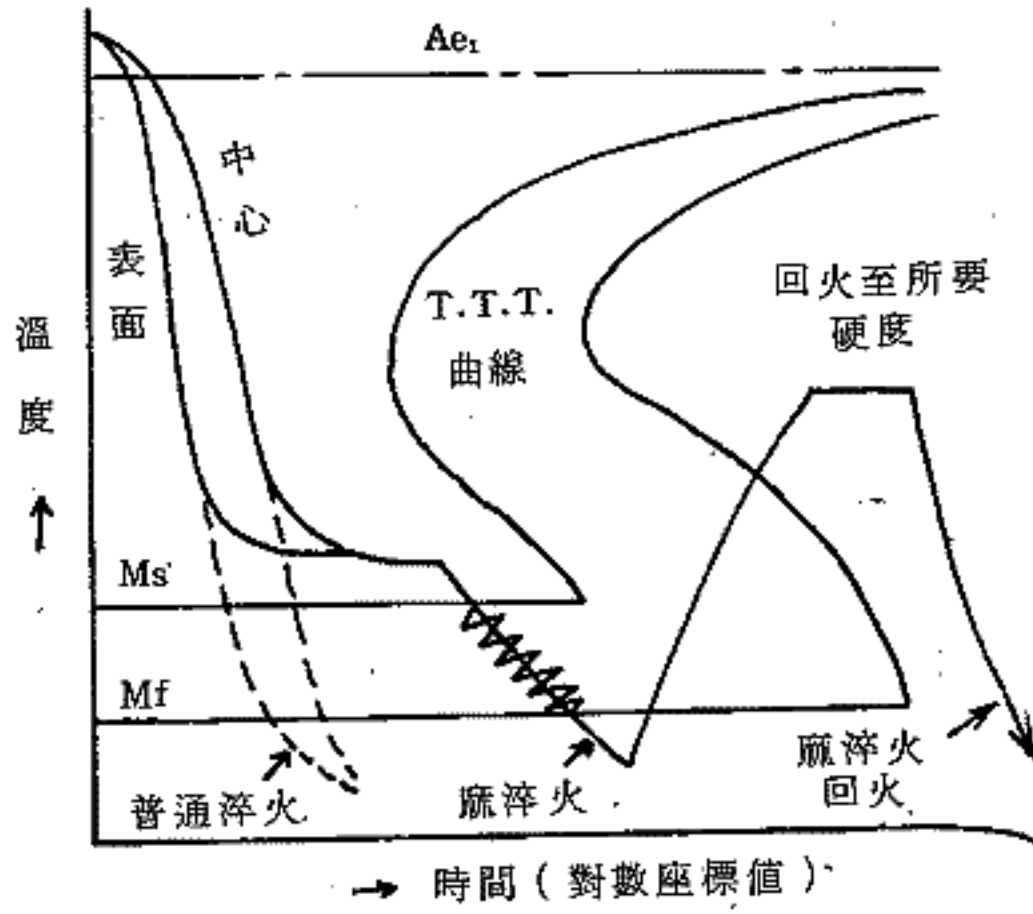
### 1.1.7 回火

回火爲對淬火麻田散鐵所做的再加熱處理，而對工具鋼（SK材）加以低溫回火（約 $200^\circ\text{C}$ ），對調質鋼加以高溫回火（ $400^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ ）。回火的主要目的是除去由淬火急速冷却所發生的應力（熱應力與變態應力）。但低溫回火則無完全除去這應力。一般而言， $450^\circ\text{C}$ 以上的加熱始能解除，要是 $200^\circ\text{C}$ 的回火則只能解除50%， $100^\circ\text{C}$ 回火則只有25%而已。因此，必須具備耐磨耗性的工具鋼低溫回火時，爲了有效的除去應力， $200^\circ\text{C}$ 的回火必須反覆2~3次。只以這樣的低溫回火是不能夠期待淬火組織的變化，但減少應力是可能的。而且爲了除去應力，如加熱冷却的熱力循環頗爲有效，是故被推薦2~3次的反覆淬火。

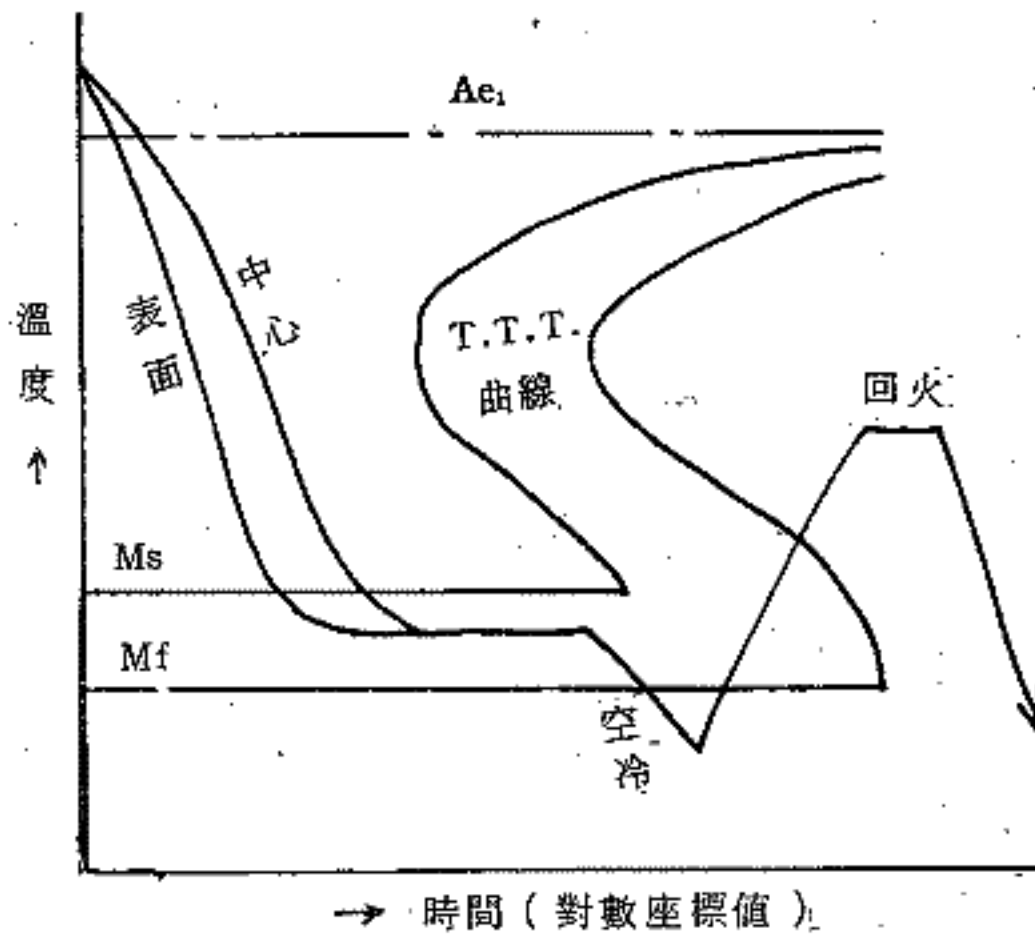
反過來說，SKH及SKD 11的淬火後高溫回火就是與構造用鋼（S-A材）的調質有所不同，爲的是調整殘留沃斯田鐵（retained austenite），由於從回火溫度的冷却使它麻田散鐵化，所以其性質倒不如說再淬火較好。凡是顯示回火硬化的合金鋼均有如此性質，故第二次的回火便相當於真正的回火，而表面上看起來似乎反覆回火。過去SKD 11的回火，一般採用低溫回火（ $180^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ ），但SKD 11和SKD一樣會顯示二次硬化，所以漸漸被採用高溫反覆回火。這是因爲回火溫度愈高，耐熱性愈好，故能耐高溫切削的原因。回火是爲了除去由淬火所發生的應力（ $\sigma_R$ ），同時使殘留沃斯田鐵（ $r_R$ ）轉變爲麻田散鐵所需要的操作。而要達到這目的，反覆回火頗有效。若加以放電加工（EDM或WEDM）絕對需要高溫反覆回火。

調質時不必要反覆回火，但從回火溫度的冷却，却是重要的。尤其對於Ni-Cr鋼，爲了防止回火脆性（temper brittleness）其意義上有規定回火急冷。然而認爲此急冷就是水冷或油冷，從而加以急冷，則發生熱應力（ $\sigma_R$ ），於是加工時往往發生變形。因此，對回火急冷其冷却速度需要調整多少度爲宜，將這問題從遷移溫度來研究的結果瞭解了 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ （從 $600^\circ\text{C}$ 的平均冷却速度）以上的冷却速度對回火脆性就沒問題。這是相當於對直徑300mm圓棒加以空冷時的中心部冷却速度。於是明白了普通從回火溫度加以空冷即可。空冷則沒有殘留應力（ $\sigma_R$ ），而加以切削加工時也不會出現變形。

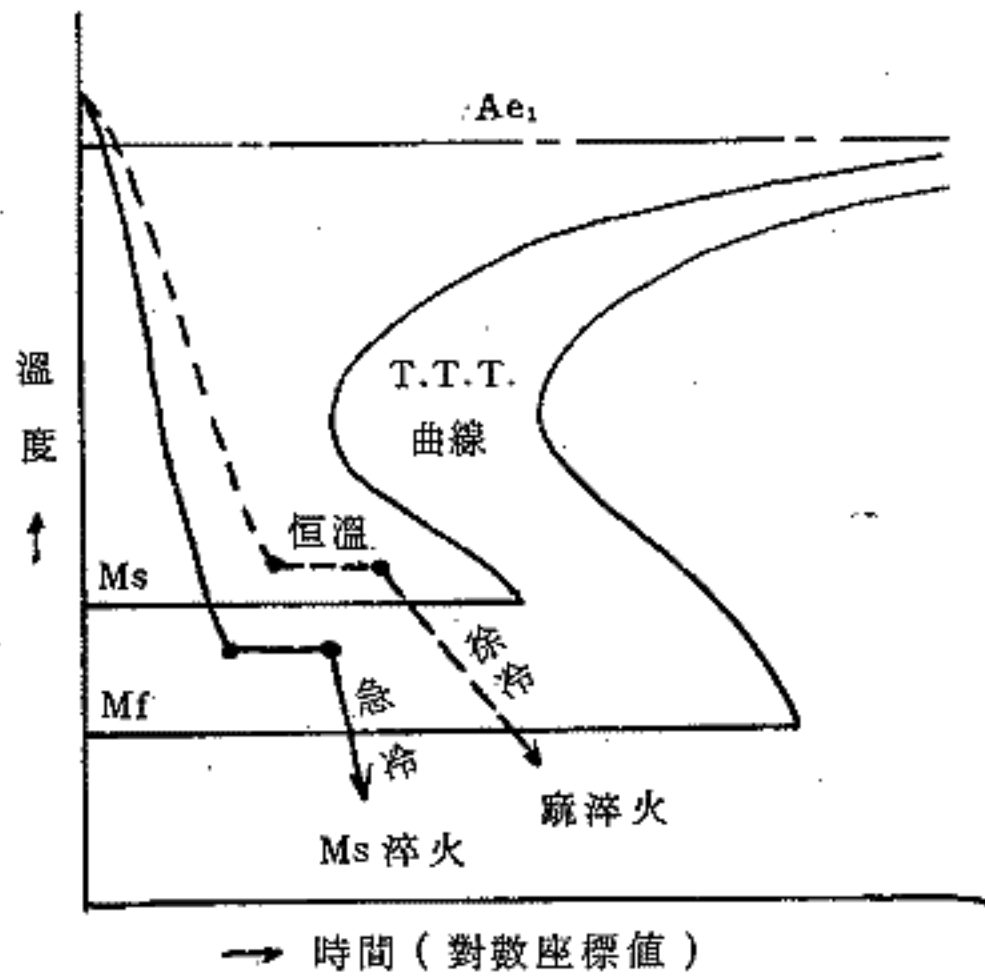




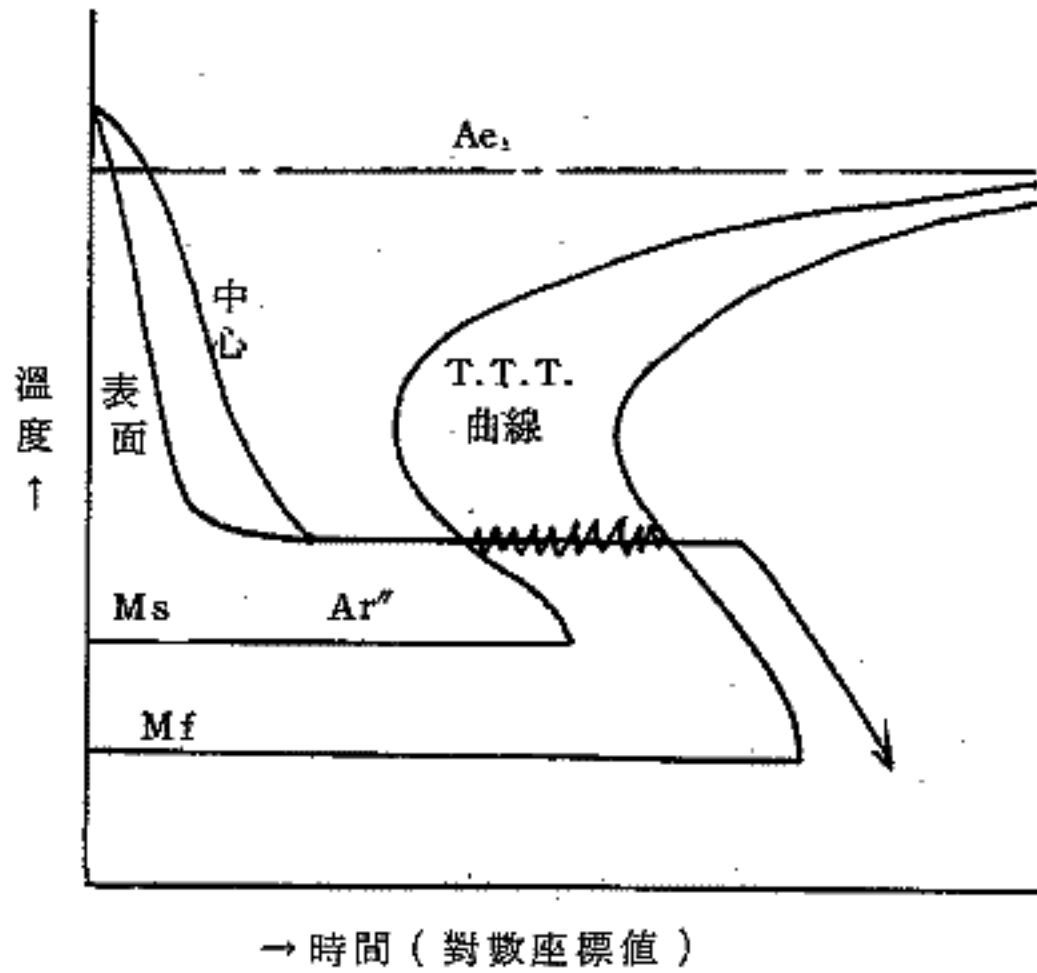
第3圖 麻淬火



第4圖 改良麻淬火



第 5 圖 Ms 淬火



第 6 圖 沃斯回火

## 1.2 恒溫熱處理 ( isothermal heat treatment )

### 1.2.1 麻淬火 ( marquench )

恒溫熱處理而言麻淬火 [ 又稱麻回火 ( martemper ) ] 被證明為淬得「不破裂、不彎曲、硬」的熱處理技術頗有效且適當。同時也被證實這時候所用的冷却用熔鹽 ( 液溫約與 Ms 點相同 ) 加上水 1 ~ 2 % 則可以增加熔鹽的冷却速度。這對於大型零件加以麻淬火時很方便，於是在現場廣泛被採用。熔融的冷却用熔鹽加上水的方式，獲得了實際效果。第 3 圖為麻淬火操作過程。

### 1.2.2 改良麻淬火 ( modified marquench )

通常麻淬火採用 Ms 點相同的熔鹽作為冷却液而使用，不過往往發生不方便的情形。於是，調整油溫為 Ms 點正下方的 150 °C ~ 200 °C，而淬火於此，稱之改良型麻淬火法。按此方法，可使用熱油代替熔鹽，故一般熱處理工場也採用且方便。最近稱之熱浴淬火，作為防止淬火彎曲的淬火方式，被欣賞使用。第 4 圖為改良麻淬火的操作過程。

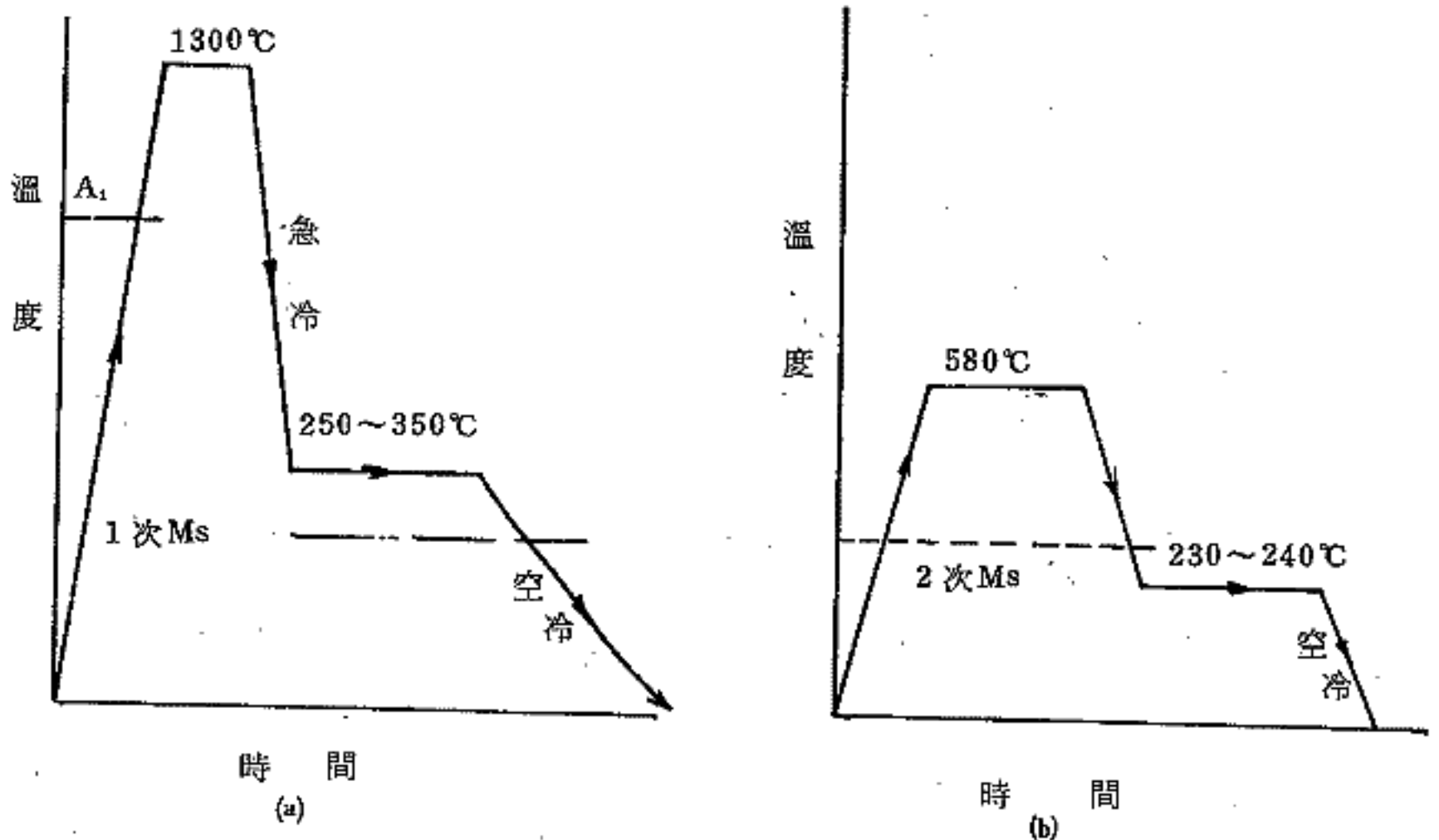
### 1.2.3 Ms 淬火 ( Ms quench )

麻淬火為急冷至 Ms 點，而在此把處理物內外溫度均等化後取出，再加以空冷的操作。就是說 Ms 點以下慢慢冷却，故增加殘留沃斯田鐵 (  $r_B$  )。為了解除這缺點所開發的是 Ms 淬火。這是由如下處理而成立的操作，先急冷至 Ms 點正下方，使之內外同溫度後加以急冷，等於急冷至 Ms 點，再從 Ms 點以下也急冷，因此命名為 Ms 淬火，如第 5 圖所示。於是減少殘留沃斯田鐵，且淬火時的破裂，彎曲都可以減少，目前適用在滾珠軸承，車床等之淬火。

### 1.2.4 沃斯回火 ( austemper )

如第 6 圖所示，沃斯回火為 1940 年由 E. C. Bain 所開發的熱處理技術，而是只要淬火；不要回火的熱處理。可以得到的組織為變韌鐵 ( 上部或下部 )。比通常淬火、回火零件強韌 ( HRC 45 ~ 50 ) 故工業上有利之處多。可是，由硬化能的關係，受了不少質量效果的影響，其適用範圍為 S ~ C 材限於直徑 5 mm 以下，SCM 材限於 30 mm 左右而已，這是缺點。

以這種沃斯回火處理應用在 SKH 就是變韌鐵淬火與變韌鐵回火。如第 7 圖所示。由於如此處理可使 SKH 硬且無黏性，對間斷切削發揮威力。



第7圖 高速鋼的變韌鐵淬火(a)與變韌鐵回火(b)

## 2.1 表面硬化熱處理

作為表面淬火過去的高週波淬火或火焰淬火等有效的被實際應用，可是惟有節省能源用熱處理的高週波淬火被注目，尤其經過 1973 年與 1979 年的二次石油危機，重新被看好。再說，過去作為表面硬化法被採用滲碳或氮化等，但目前作為提高工具的切削能力的熱處理實際應用水蒸氣處理（homo 處理）。其他以工具等的壽命延長為目的，如表面滲覆和 atom 處理（Cr 碳化物）、T-D process（V 碳化物）、PVD、CVD、硼化處理等等，一直到現在都很熱烈的被採用。表面硬化處理不僅耐磨耗用，作為耐疲勞用也有效果。

## 2.2 表面強化處理

一直到現在與其表面硬化不如以強化為目的，作為肥拉鐵帶當中的溫處理被用於軟氮化。軟氮化有兩種，有熔鹽法（Tufftride, sursulf）和瓦斯法（nitemper, Tuiffnite, uninite 等）。無論那一種，處理溫度為 570°C 左右，而表面硬度 Hv 約 500，因為比瓦斯氮化（Hv 1000）軟的原因，故總稱為軟氮化。無論那一種與其說是機械零件的表面硬化不如作為疲勞強度的提高用發揮威力，不僅如此，耐蝕性會提高，所以好處多。

## 2.3 表面潤滑化處理

減少機械零件的摩擦係數，從而減少磨耗，以此為目的，正在研究滲硫（S的滲透）。這有二種，低溫（190℃ caubet法）和高溫滲硫（570℃）。無論那一種均使用含硫熔鹽，但低溫法為陽極電解法（以處理物為陽極），而高溫法則僅僅浸漬法而滲透硫。因此，其適用對象，低溫滲硫為低溫回火品，高溫滲硫則為調質品或SKH、SKD 11等的高溫回火品。

## 3.1 深冷處理（sub-zero treatment）

以負（零下）溫度處理的方法，應稱為深冷處理。淬火物品多多少少存在殘留沃斯田鐵（ $\gamma_R$ ），同時存在有殘留應力（ $\sigma_R$ ）， $\gamma_R$ 的消除非300℃以上的回火或深冷處理不可， $\sigma_R$ 的消除非450℃以上的回火不可。為了對付這 $\gamma_R$ ，過去是淬火後加以深冷處理（乾冰，-80℃），可是加以深冷處理時，往往發生深冷裂痕（subzero crack）。這是因為嫌其 $\gamma_R$ 的安定化，淬火後立即加以深冷處理的原因。淬火後加以100℃×1h的熱水回火，然後再施以深冷處理，則可以防止深冷裂痕，並且 $\gamma_R$ 會消滅，硬度可以提高且分佈均勻，不僅如此，時效變形的防止也很方便。過去的熱處理是利用零度以上的溫度，但把零下溫度有效運用的冷處理作為廣泛意義的熱處理（thermal processing）是很重要的。

## 4.1 其他 - 彎曲矯正

淬火時的彎曲與破裂一起成為令人煩惱的二大缺陷。為了防止這種彎曲現象，加壓淬火（press-quench）很方便，而Gleason的加壓淬火機械零件有名。再說已發生彎曲，則利用回火時（回火溫度>400℃）的變態超塑性有效。這就是加壓回火（press-temper）。但是，這是由回火所引起組織變化的方法，故只能適用回火溫度400℃以上處理物。因此對於回火溫度200℃左右的SK或SKS，SKD 11等不能應用，有這些缺點。

## [ 2 ] 今後發展

### 1.1 普通熱處理

今後的熱處理技術簡單的說是3S或2S的熱處理。3S就是sure（確實），safety（無公害）及saving（節省能源）的熱處理，2S則是safe（無公害）及save（節省能源）的熱處理。因此，safe（無公害）和save（省能源）的熱處理，可以說是1980年代之熱處理。以這2S為基礎目前正在開發各種新技術。

### 1.1.1 真空淬火 ( 油冷、加壓、瓦斯冷却 )

爲了防止氧化，脫碳同時加以光輝淬火，可說是真空熱處理爲最適當。例如真空油淬火或真空瓦斯淬火等是真空熱處理的代表。爲了提高真空瓦斯淬火的冷却速度，最近開發了加壓瓦斯冷却，漸漸被工業化。例如高速鋼的真空瓦斯淬火，由於 500 kpa ( 5 bar ) 的氮瓦斯冷却，可得與鹽浴爐冷却幾乎同樣的效果。加壓瓦斯冷却認爲可以大大的改變真空淬火的性能。

### 1.1.2 流動床爐淬火

流動爐 ( Fluidized bed furnace ) 會取代鹽浴爐，以控制爐氣來做滲碳氮化、滲碳滲氮、滲碳、氮化、Homo處理、中性淬火、回火等都可以用控制爐氣來熱處理。由於無公害之虞，溫度均勻，今後可能會被當爲新的加熱方式而廣泛應用。

### 1.1.3 鍛造淬火 ( Aus-forging )

利用鍛造的餘熱，從鍛造的完成溫度直接淬火的方法稱爲鍛造淬火，爲加工熱處理 ( T.M.T ) 的一種。不僅可以節省能源及縮短製造工程，並且可以提高硬化能，於是有淬火硬化增大的好處。

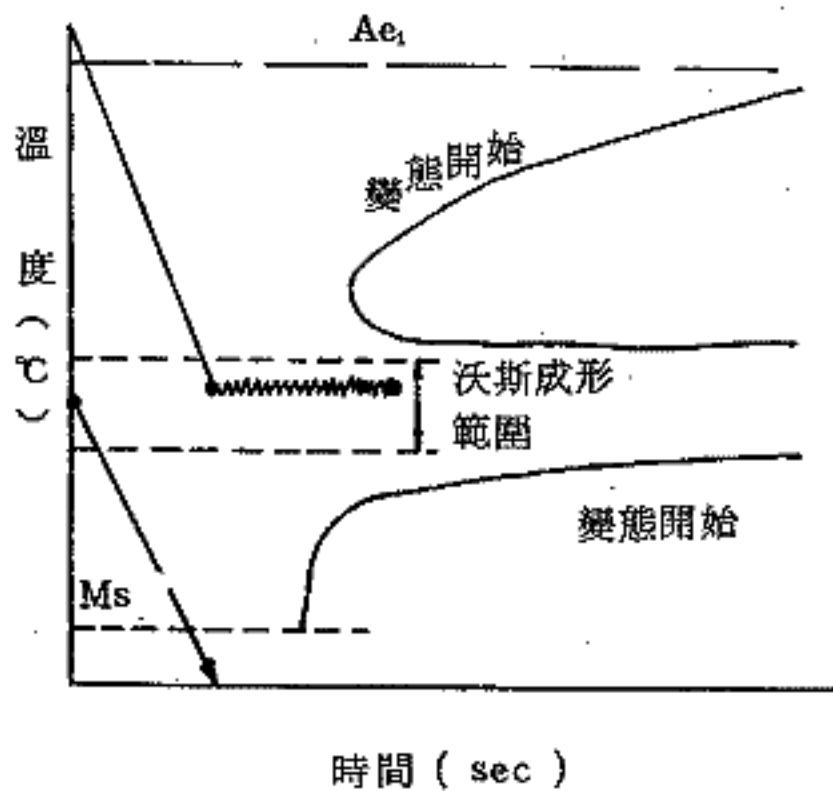
### 1.1.4 水溶性淬火液 ( polymer quenchant )

這幾年來，業界對於淬火液的問題越來越關心。水溶性的淬火液比淬火油更可得到均勻的淬火，而且沒有火災之顧慮，故作爲將來淬火液被注目。5 % 的水溶液具有比水快的冷却速度，10 ~ 15 % 水溶液則爲水和油中間的冷却速度，25 ~ 30 % 水溶液則與淬火油同樣冷却速度。可是當使用水溶性淬火液之時，特別要注意濃度的調節，液溫及攪拌速度。再說，對高碳鋼及合金鋼等的淬火，容易引起破裂，是故必須施以時間淬火 ( 中斷淬火 )。再者這種 polymer 淬火液對於防止高週波硬化之軟點，硬化不均現象頗爲有效。想到火災、公害及石油危機，過去所使用的淬火油應該急早調換爲水溶性淬火液。美國最近發表的資料是 1980 年 30 %、1985 年 50 %、1988 年 100 % 之調換率，由淬火油換用 polymer。

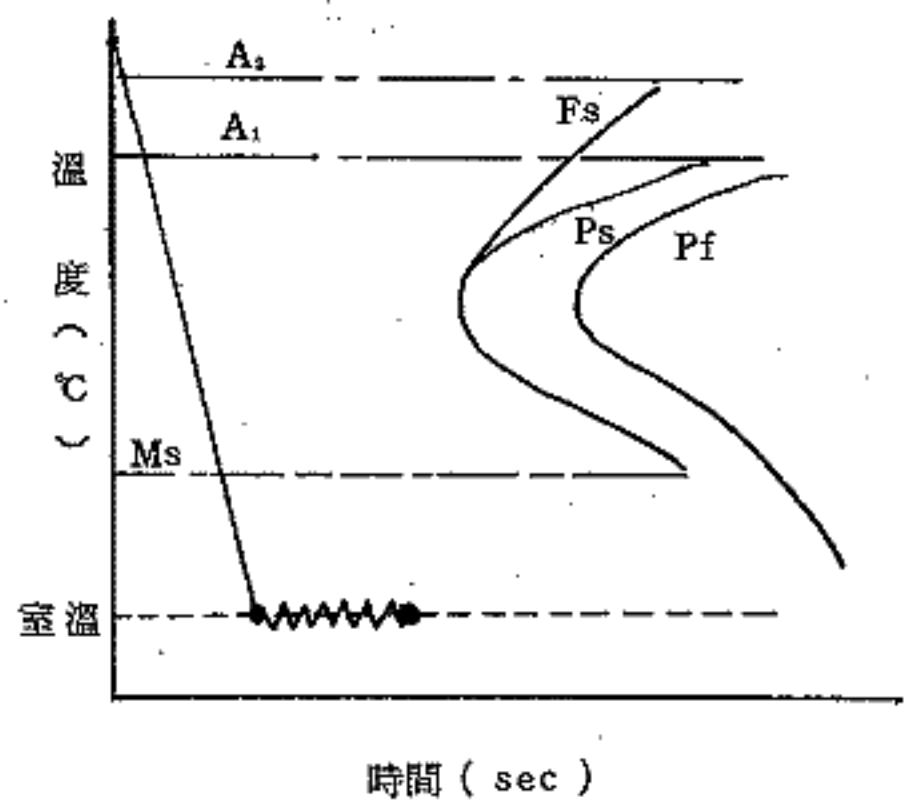
## 1.2 恆溫熱處理

### 1.2.1 加工熱處理 ( thermo-mechanical treatment )

過去的熱處理只依靠加熱及冷卻的兩種操作，然加之塑性變形用外力的熱處理稱為加工熱處理 ( T.M.T. 三次元熱處理 )。塑性變形有兩種情形，以沃斯田鐵為對象及適用於麻田散鐵。沃斯田鐵加上外力稱為沃斯成形 ( ausforming ) 如第 8 圖所示，而麻田散鐵加上外力稱為麻成形 ( marforming ) 如第 9 圖所示。加工熱處理的大部分屬於沃斯成形。這沃斯成形是對過冷沃斯田鐵施以塑性加工，故 S 曲線的沃斯田鐵彎部必須深且寬，這是必要的。



第 8 圖 沃斯成形的圖示與 T.T.T. 曲線



第 9 圖 麻成形

從這一點來說其適用材料是 SKH 或 SKD 11 等。吾人認為這 T.M.T. 作為提高強度用的熱處理今後可更加實際應用。尤其以高溫施行的 T.M.T. ( H.T.T.M.T. ) 對將來頗有前途。

### 1.2.2 中斷沃斯回火

沃斯回火的弱點即不能適用於大形零件。最近 FCD 製的凸輪及曲軸等採用沃斯回火。但經常成為問題的是質量效果這一點。於是想到中斷沃斯回火。這方法是加以水冷或油冷

，中途取出裝入沃斯回火恆溫爐，在此施之沃斯回火法，按此中斷沃斯回火，處理物外圍變成麻田散鐵回火，內部則沃斯回火，雖然和純粹沃斯回火互異，但由回火的組合可以期待其優異的機械性質。因為沃斯回火作為節省能源處理是有前途的，所以將其弱點的質量效果用中斷沃斯回火解決，則將來可以擴大沃斯回火的應用範圍。可以說是可期待的一項熱處理。

### 1.2.3 C.C.T 曲線的有效應用

作為熱處理技術的指南地圖，C.C.T 曲線頗有用。這是連續冷卻的場合，而跟實際淬火的冷卻狀態有所不同。故從這圖直接推測淬火組織及硬度變化等是有些困難的。於是順應連續不等速冷卻的 C.C.T 曲線之寫造被迫切期待。再說，為了得到所需要的硬度，C.C.T 曲線中那一個部分的冷卻速度可發揮作用，於是開發更有效的冷卻液（淬火液），目前正在進行如此嘗試。

同時，過去的 C.C.T 曲線縱軸為 $^{\circ}\text{C}$ ，橫軸為時間（對數分度），在此表示冷卻曲線及由此得到的組織和硬度。可是在英國採用處理物的直徑代替時間分度，也就是溫度——直徑圖。由這直徑可以了解分別加以空冷、油冷及水冷時的中心部組織如何變化。因橫軸為直徑，所以如過去 C.C.T 曲線的冷卻曲線上沒有表示。由此新 C.C.T 曲線可以了解淬火直徑各不同的圓棒子淬火（空氣、油、水）時的組織變化狀況，是故，就現場淬火的有效應用也有可能。今後，希望將此新 C.C.T 曲線用之各種鋼材，利用在現場淬火。

## 2.1 表面硬化熱處理

### 2.1.1 電腦熱處理（computer heat treatment）

對於氣體滲碳及高週波淬火，利用電腦（micro computer）謀求品質之安定化與節省能源的方法，已經極力的被推動。採用電腦之方式稱為 PLG（Programmable Logic Controllers）System。又在塩浴熱處理以及真空熱處理引進了電腦，同時並用機器人而自動化、連續化、無人化。當然，電腦熱處理則為了把熱處理用鋼材的化學成分、結晶粒度、硬化能及碳化物粒等等安排在電腦處理上，調節得要幅度小，這是不必說的。

### 2.1.2 L.B., E.B. 衝擊淬火

將機械零件局部需要硬化的部分，局部硬化處理，比全部加熱來得經濟，而且省能源。以往如此的需要，大部分以高週波來解決。最近利用雷射（Laser 簡稱 L.B）及電子束（Electron beam 簡稱 E.B）衝擊波等來做表面局小部分之淬火的熱處理，目前相當引人



注目。雷射與電子束的熱處理，因加熱迅速，又能自我淬火，淬火變形又小，以節省能源之熱處理而言非常有將來性。過去的熱處理是徐加熱（慢速加熱）也可以說靜態熱處理，可是 L.B.、E.B.、衝擊淬火却是動態淬火的形式，故處理出來的麻田散鐵之性質有所不同。因此，耐磨耗性也大大的另有一種特徵。例如汽缸內面的淬火呈現螺旋狀或條紋狀，發揮優異的耐磨耗性。L.B.，E.B.，衝擊淬火將來在 20 年內，必定盛行是頗有前途的一項熱處理。

### 2.1.3 熔融表面硬化法

使處理物之表面熔融，並使它自行凝固而表面硬化的新方法已開發出來，並漸進入工業化。此種方法稱為熔融表面淬火法（melt surface hardening）。目前應用在鑄鐵製品的表面硬化。過去使金屬表面熔融時，應用火燄或高週波來加熱，目前應用 TIG（Tungsten Inert Gas）熔接，亦即應用 TIG 熔接之電弧，將鑄鐵製品之表面熔融，藉自己吸熱而將熔融面急冷，形成冷激（chilled）層而硬化。此法又名 Elowing 法，表面熔融，除了 TIG 之外尚可應用電子束或雷射等方法。熔融表面硬化形成鋸齒形、條紋狀及螺旋狀的硬化形狀是一種不均勻的淬火，這對提高耐磨耗性非常的有效。

### 2.1.4 高週波電阻加熱淬火

目前高週波淬火，代替了滲碳及滲碳氮化等的表面硬化熱處理，兼以節省能源為目的漸漸之被實際應用。尤其對棒材等的加熱，過去應用了低壓、高電流的通電電阻加熱方式，但 1980 年代採用了高週波電阻加熱淬火（induction resistance hardening）方式，以 IR 淬火的名稱被欣賞愛用於齒條形齒輪等的淬火。按此 IR 淬火由於接隣感應器形狀的選擇，在其表面可以為 S 形或鋸齒形等的圖形淬火，從此可以推想將來一定可擴大其應用範圍。

### 2.1.5 高週波液中加熱淬火

作為大形齒輪的高週波無歪淬火的一種方法，在水中或油中浸漬齒輪而在高週波液中加熱，淬火的方法，到現在才漸被實用化。高週波液中加熱淬火（immersed induction hardening），個人認為這是作為今後的新形式會有所進展的。

### 2.1.6 高週波一次淬火 ( single shot hardening )

過去的高週波淬火大部分為移動 ( 旋轉 ) 淬火式，但最近被採用對階梯式零件的全周圍表面硬化，漸漸發揮威力。一般認為由殘留應力的型式及硬化深度均等性的關係，一次淬火則有優異的疲勞強度。個人認為今後這用途會更加擴大。

### 2.1.7 真空滲碳

因為真空滲碳 ( vacuum carburizing ) 節省能源及資源效果大，所以隨著 2 S 線大大的被利用，個人認為今後其實際應用很快就會上昇。尤其跟著連續真空爐的開發漸被強調連續真空浸碳，這是值得注目的。

### 2.1.8 離子滲碳 ( ionocarburing )

利用離子加以氮化或滲碳的方法稱為離子熱處理。目前，離子熱處理主要應用在氮化。可以推斷到 1990 年代將盛行離子滲碳。

### 2.1.9 N<sub>2</sub> 基的氣氛熱處理 ( N<sub>2</sub> base atmosphere heat treatment )

用 N<sub>2</sub> 基之爐氣來作淬火，滲碳用之氣氛最近漸被提倡，這種方法是氮氣中混合木精 ( 甲醇 )，再加上少量之甲烷來使用，因此可節省 15 ~ 20 % 之天然氣。測量碳勢 ( carbon potential )、碳勢測示器 ( carbon sensor ) 廣泛被引用。氮氣可以由空氣中無限量採用，所以今後之爐氣也許會以 N<sub>2</sub> 基為其主流。

## 2.2 表面強化熱處理

### 2.2.1 離子氮化 ( ionitriding )

過去的 ammonia 瓦斯氮化以 510 °C 左右的溫度來處理，但其缺點是處理需要 50 ~ 70 小時之多。而離子氮化 570 °C 只須 20 ~ 30 小時 ( 瓦斯氮化的  $\frac{1}{2}$  ~  $\frac{1}{3}$  小時 ) 即可，所以可節省能源。是故如今一說到氮化就想到離子氮化，已經到了如此地步。尤其，最近因為採用付帶 micro processor 瓦斯冷卻，自動連續化也已經可能。再說離子氮化爐也從過去所使用的 cold wall 型漸漸轉移到 hot wall 型，這就是今後氮化的形成。

### 2.2.2 氧—氮化處理

氮化與氮化同時進行的表面強化處理即氧—氮化處理 ( oxy-nitriding process )。

在處理品的表面上產生氧化膜與氮化膜而強化，耐磨的處理，可以說是一種複合熱處理。是令人期待今後進展的一項表面熱處理。

### 2.3 鍍熱處理（淬火鍍鋅法）

以往，機械零件之電鍍處理都在熱處理後才施行。需要二道工程，而且浪費能源，新的方法是，將 Al-Zn 合金溶解到 450 °C，將欲鍍鋅之機械零件；例如低合金鋼材的螺釘，由 900 °C 之淬火溫度，直接淬入其中，同時獲得到沃斯回火及鍍鋅（浸漬鍍鋅）的效果。此法就是 Zinc-quench 也就是 Zinquench。目前除了應用於高張力螺釘之外，應用到鏈條、鋼索、鋼棒、釘等。

### 2.4 複合熱處理

一般的熱處理，有淬火、滲碳、氮化、高週波淬火等等。這些熱處理通常都單獨應用，以達到某種目的。雖然各個熱處理有其特色和適用範圍，但因為其特色和目的有限，所以只能發揮其本身的效果。近來，爲了要擴大熱處理的效用，則有各種複合熱處理的發展。所謂複合熱處理（blend heat treatment），是把兩種以上的單獨之熱處理配合起來，以便得到更好或範圍更廣的熱處理效果。例如氮化後的表面雖然很硬，但是因為硬化層較薄，所以基質材料的強度不夠時，此硬化層就容易破裂。假如氮化後再實施高週波淬火時，因為可增加硬化層的厚度，所以可以改善硬化層容易破裂的缺點。複合熱處理的方式很多，下面舉數種複合熱處理的例子。

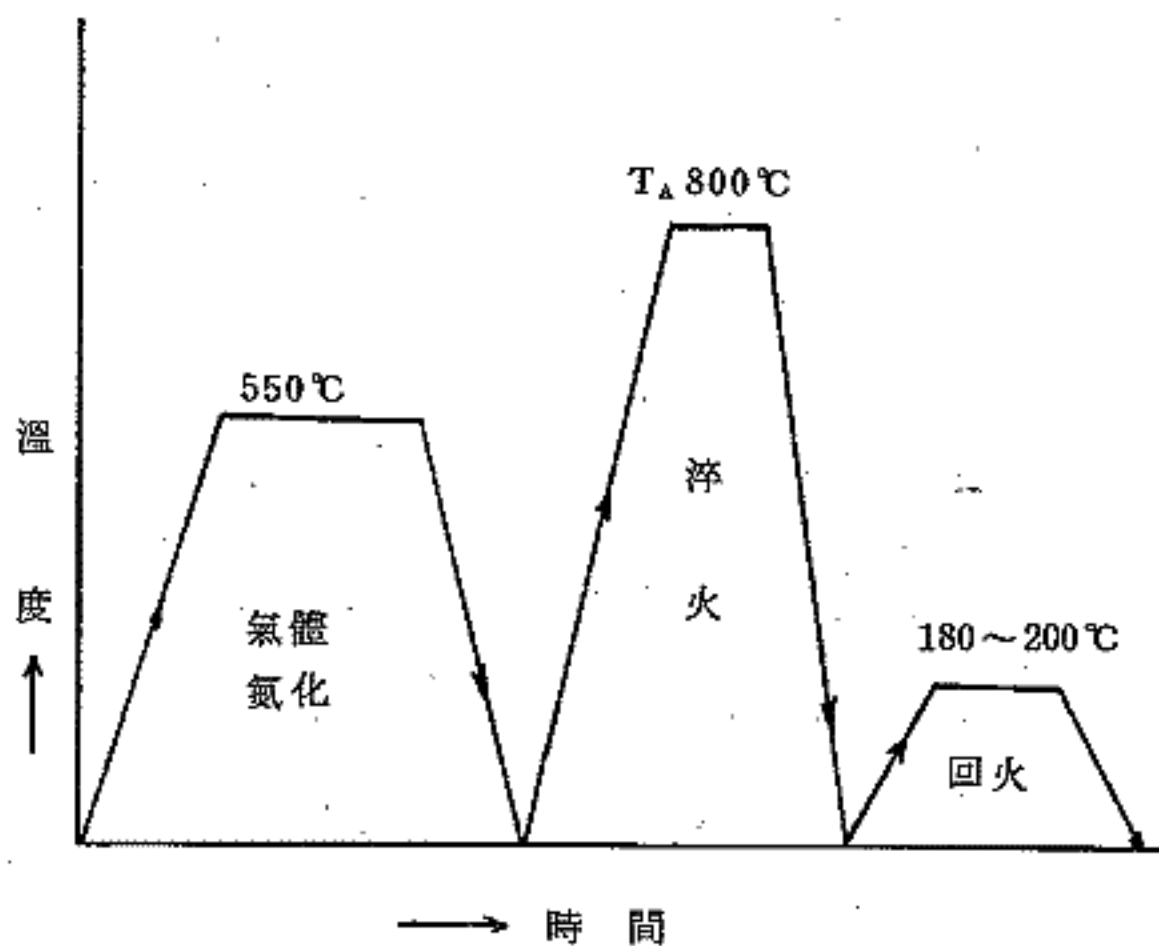
#### (1) 氮化 + 淬火

一般的氮化處理，是先把零件調質（淬火、回火）後施以氮化，但氮化 + 淬火是先氮化後再實施淬火、回火。這種方法可應用於高 C - Cr 軸承鋼（例如 JIS-SUJ2）等無心淬火鋼（淬火效果可達到中心部）。SUJ2 氮化後，實施通常的淬火及低溫回火，如第 10 圖所示。

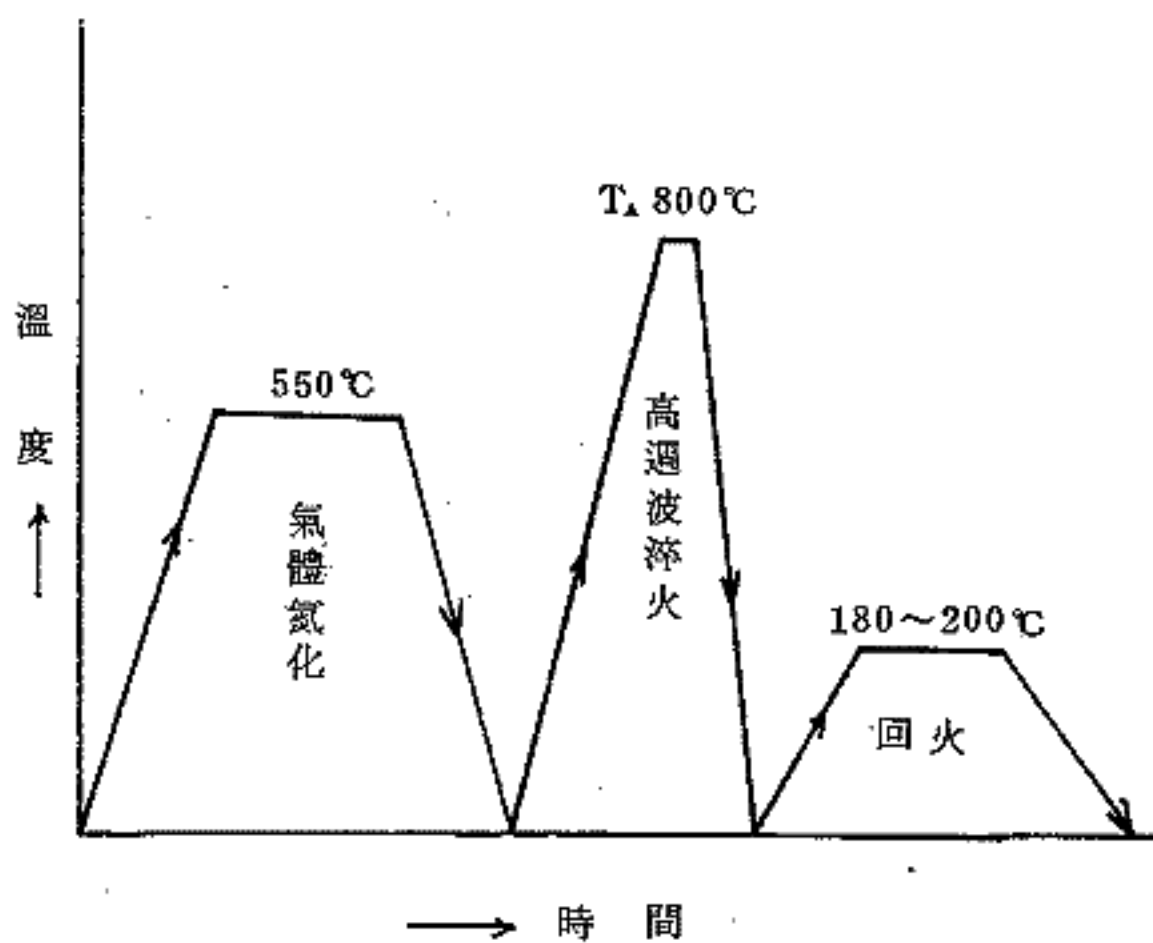
無心淬火鋼淬火後外層會殘留拉應力，而使零件的滾動疲勞強度降低。但先氮化後淬火時，因為氮化層的 Ms 點會降低，所以雖然零件外圍先冷，但生成麻田散鐵的時間會比內部慢，就時淬火時內部先變為麻田散鐵後外層才會變為麻田散鐵，結果外層會殘留壓縮應力。因此滾動疲勞強度增加，其壽命可延長 3 ~ 6 倍。假如對此零件再實施深冷處理時，因為外層的殘留沃斯田鐵會完全變為麻田散鐵，所以殘留壓縮應力更增加，效果更好。

#### (2) 氮化 + 高週波淬火

第 11 圖為氮化 + 高週波淬火的作業程序。一般的氮化處理，氮化後不需要再熱處理，



第10圖 氮化+淬火



第11圖 氮化+高週波淬火

但氮化後再實施高週波淬火時，氮化層會向內部基地擴散，並可消除所生成的白層。又因為淬火時會形成固溶氮的微細麻田散鐵，所以可得硬度高，硬化層深度大的零件。也有高週波淬火後實施氮化的方式。

### (3) 軟氮化 + 淬火

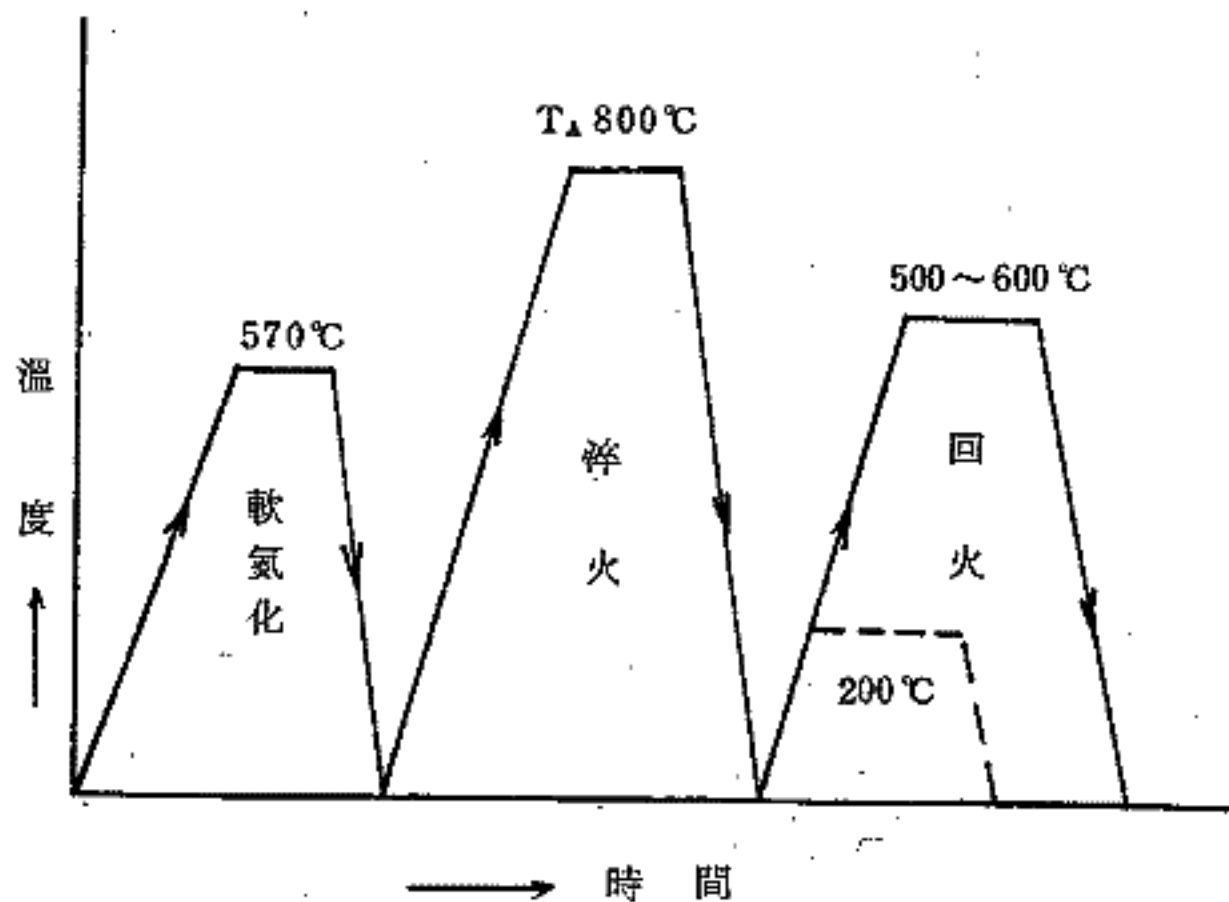
如第12圖所示，為軟氮化 + 淬火的作業程序。這種方法是軟氮化後再加熱到沃斯田鐵化溫度，而由此溫度淬火。加熱於沃斯田鐵化溫度時，由氮化所生成的表面氮化物會分解，同時分解出來的N會向內部擴散固溶。由此狀態淬火時，可得固溶N、C或合金元素的微細麻田散鐵，並且零件表面會增加殘留壓縮應力，所以疲勞強度、耐磨性會增加。

### (4) 滲碳 + 高週波淬火

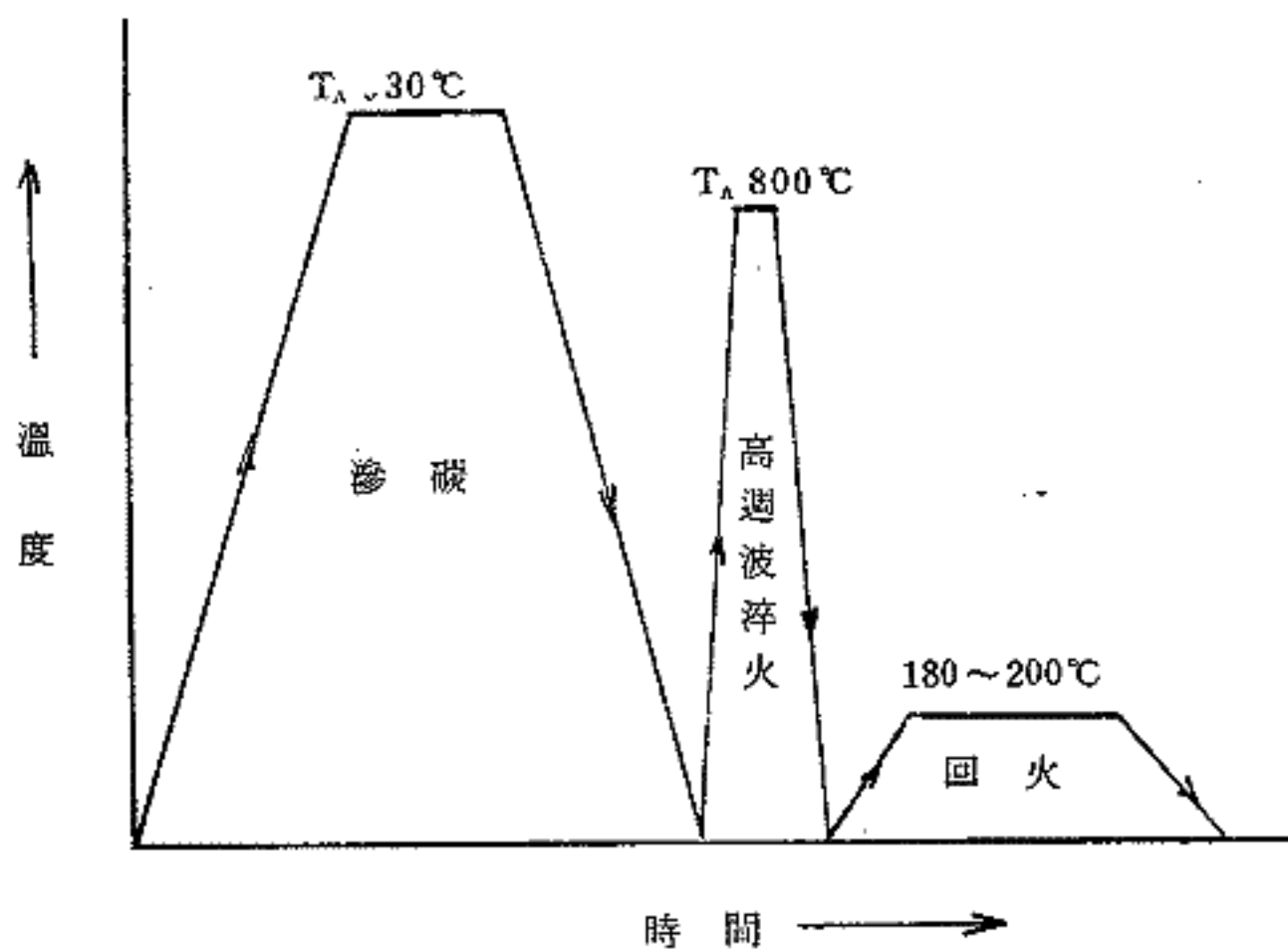
這種方法如第13圖所示，是使用高週波把滲碳零件的表層加熱後實施淬火。普通的滲碳、淬火是把滲碳後的零件直接加以淬火，或者再加熱後施以淬火。此時因為零件整體受到高溫，所以淬火變形較大。假如採用高週波，只把滲碳層部分加熱後淬火時，淬火變形就會變小。這是很大的利點。

### (5) 滲碳、淬火 + 低溫滲硫

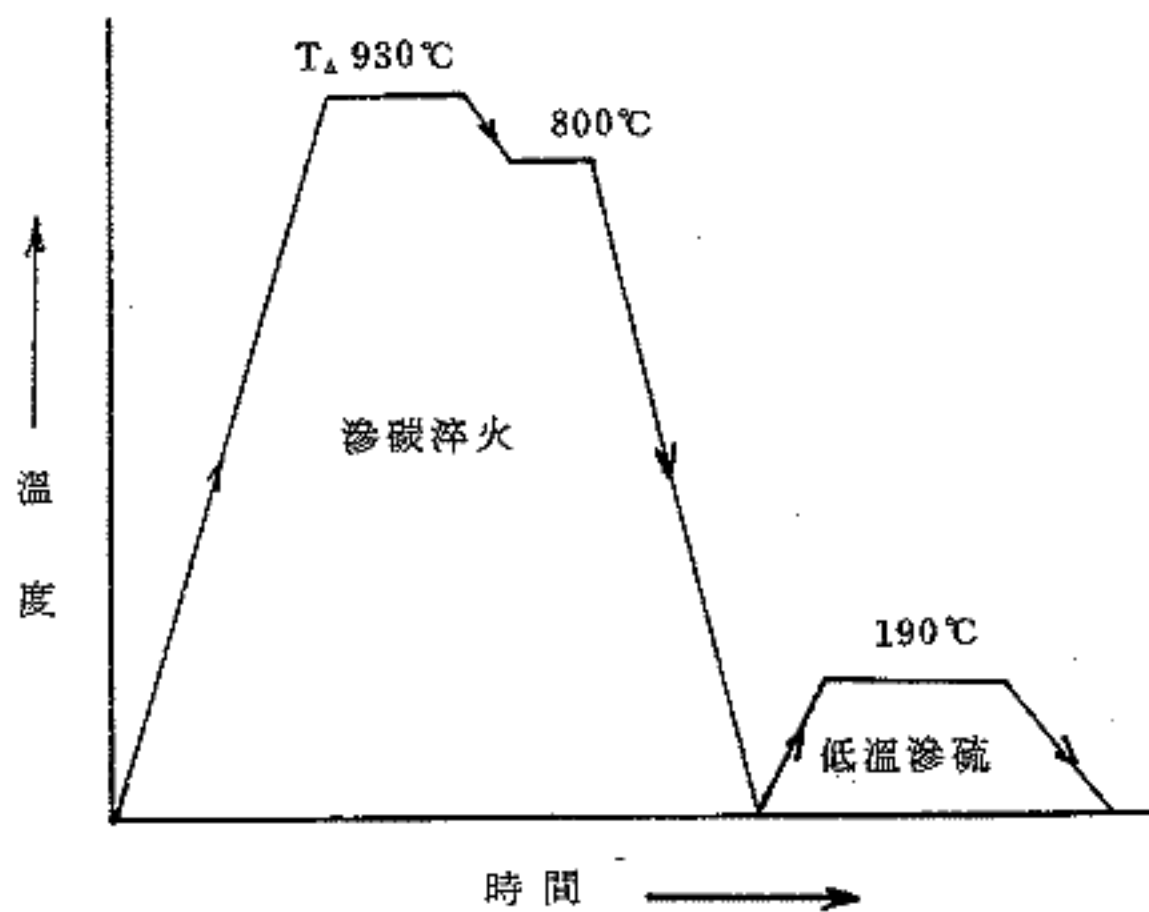
此法如第14圖所示，滲碳零件滲碳、淬火後需要回火於 $180 \sim 200^\circ\text{C}$ ，此時假如實施低溫滲硫（ $190^\circ\text{C}$ ），使S滲入滲碳硬化層時，對零件可附加潤滑性，而得具有耐磨性（C的效果）和潤滑性（S的效果）雙重特性的零件。



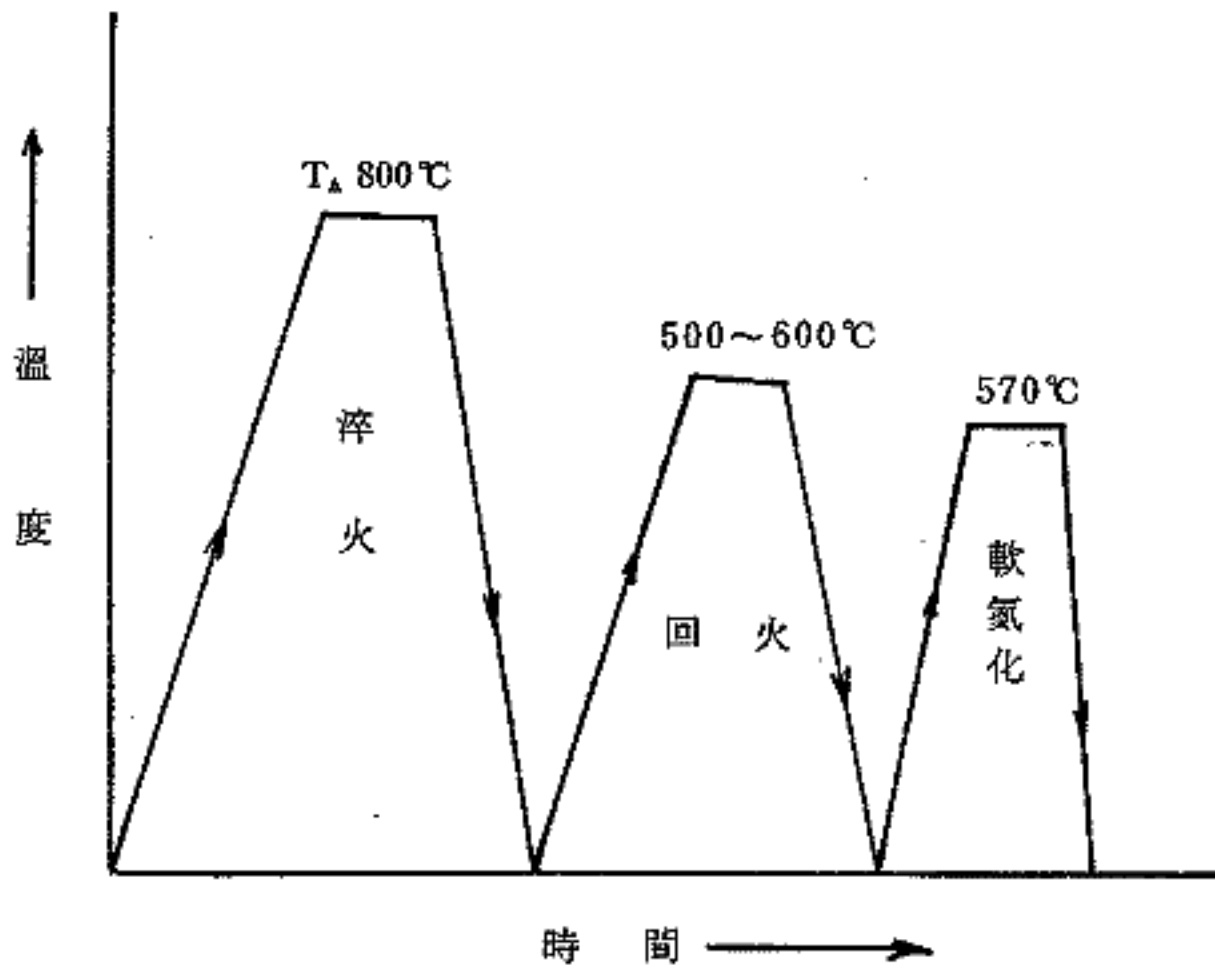
第12圖 軟氮化 + 淬火



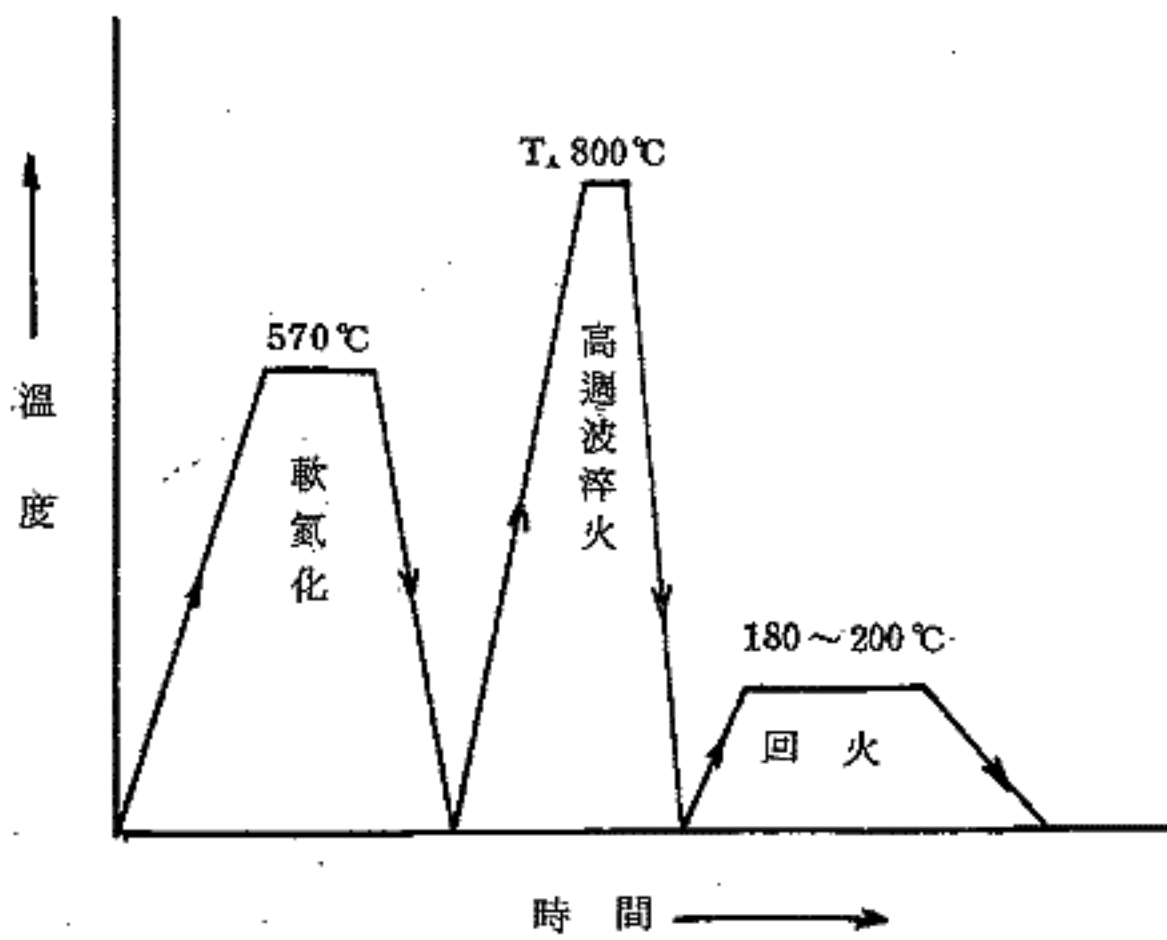
第13圖 滲碳+高週波淬火



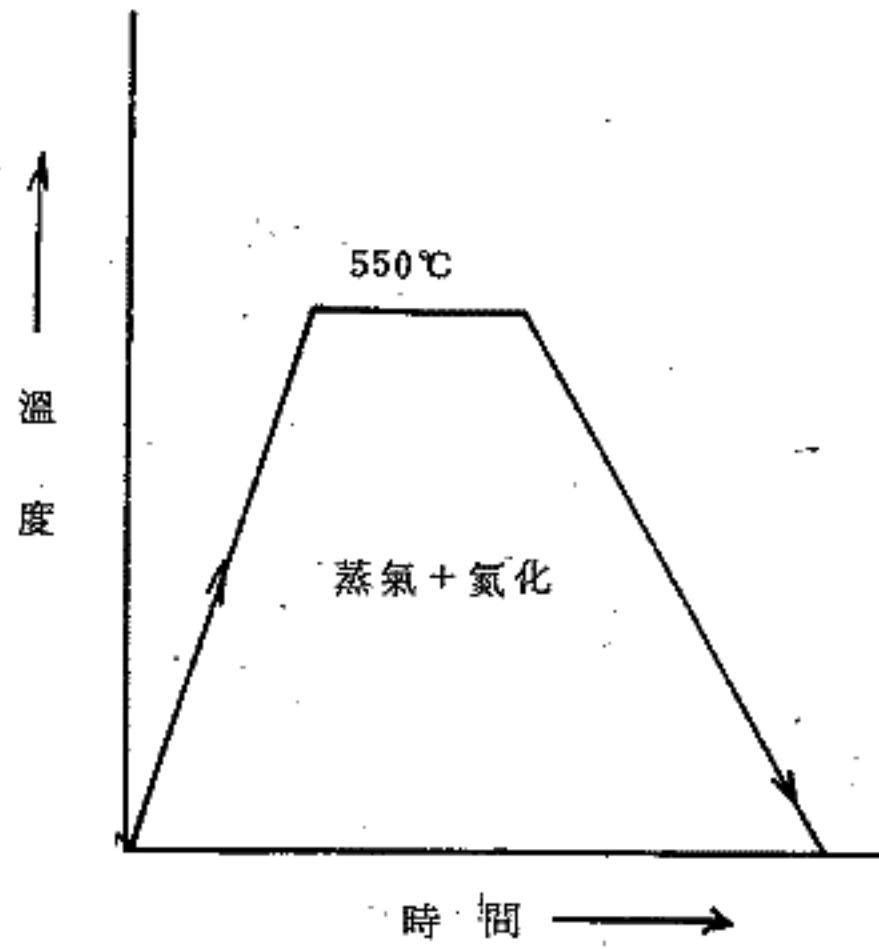
第14圖 滲碳淬火+低溫滲硫



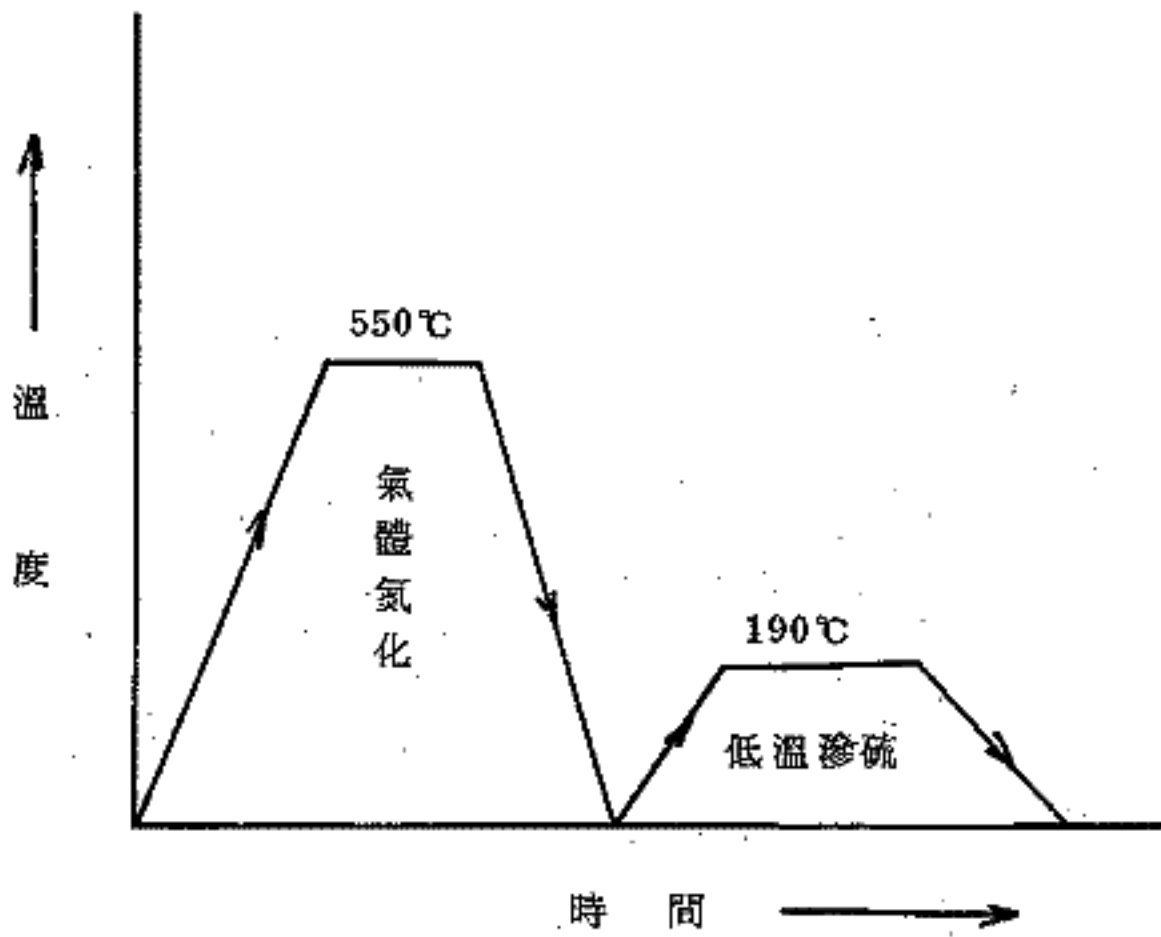
第15圖 調質+軟氮化



第16圖 軟氮化+高週波淬火

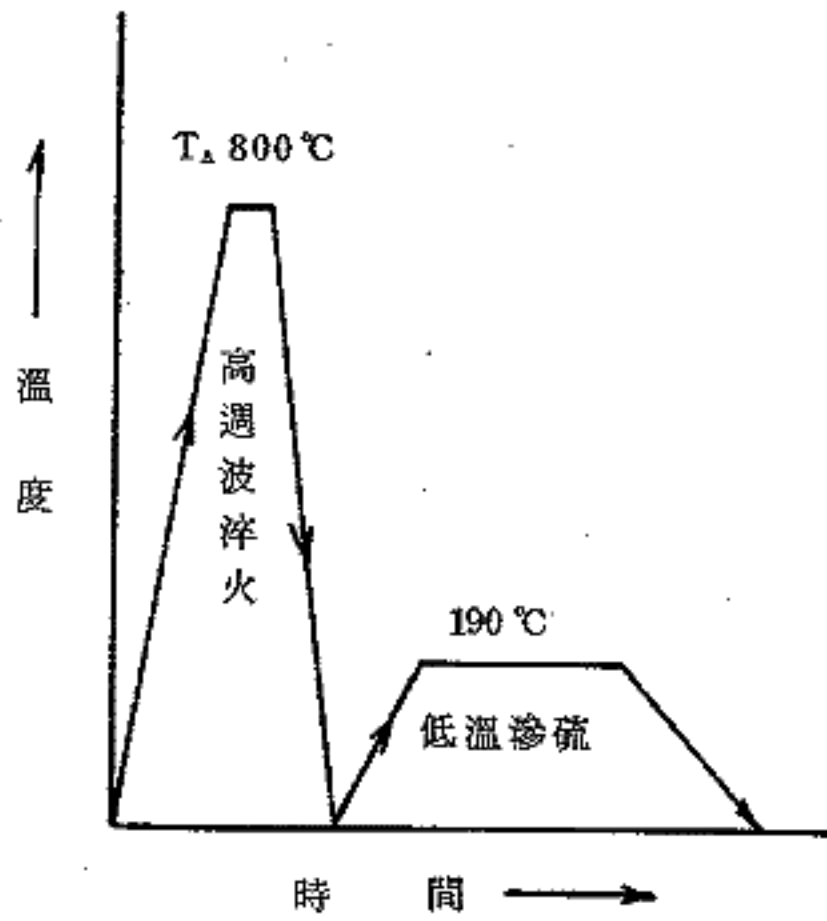


第 17 圖 蒸氣處理 + 氮化

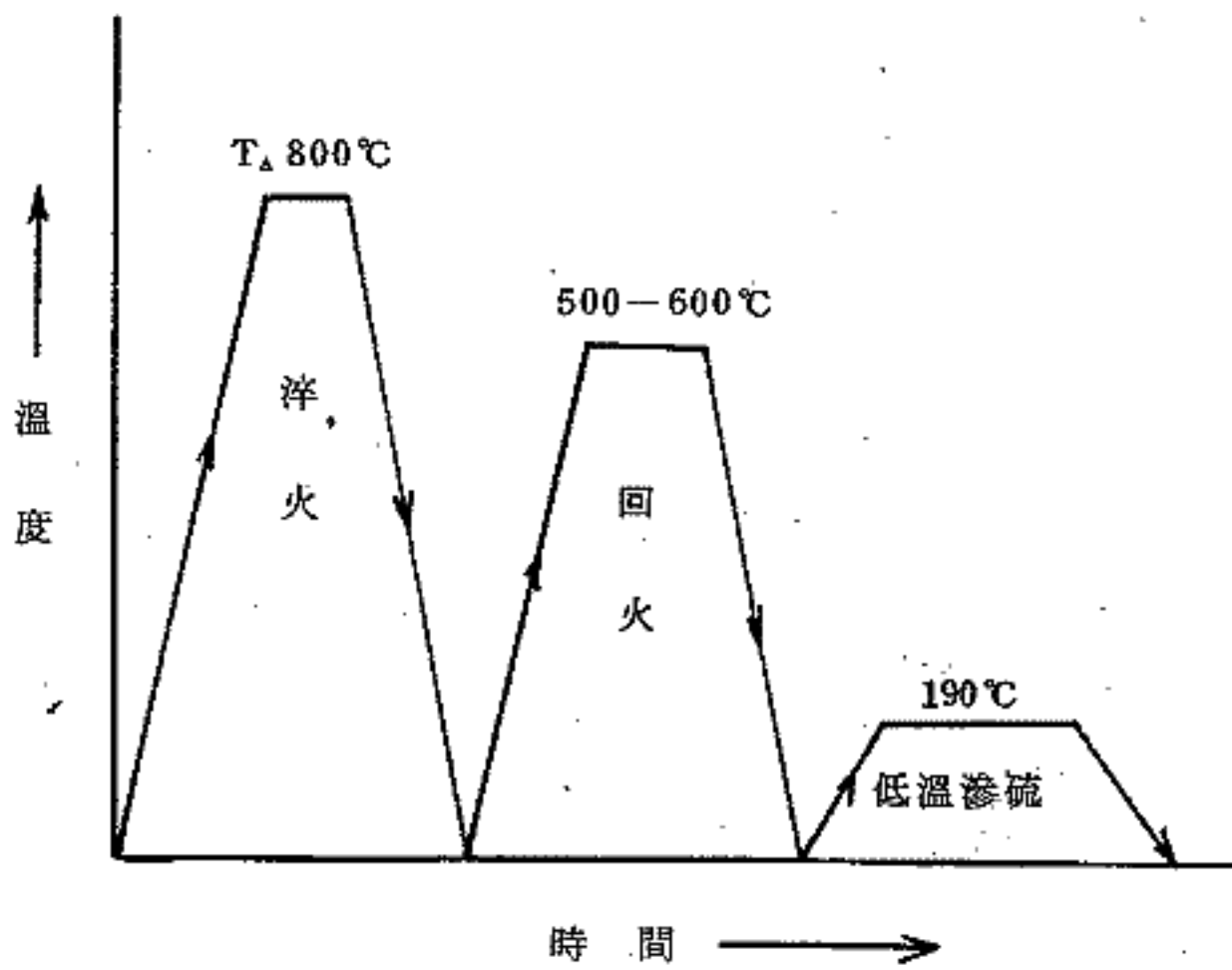


第 18 圖 氮化 + 低溫滲硫





第19圖 高週波淬火+低溫滲硫



第20圖 調質+低溫滲硫

### (6) 調質 + 軟氮化

此法如圖15所示，調質是淬火後在 400 °C 以上的溫度實施回火的作業，主要應用於機械構造用合金鋼，以增加其強韌性。對調質品再實施軟氮化時，在強韌的母體表面會形成耐磨性、耐疲勞性優良的表層，所以可得強韌又耐用的零件。

### (7) 其他

上述各種複合熱處理以外，還有許多組合的複合熱處理，如第16圖至第20圖所示，有軟氮化 + 高週波淬火，蒸氣處理 + 氮化，氮化 + 低溫滲硫，高週波淬火 + 低溫滲硫，調質 + 低溫滲硫等等。因此，今後的熱處理可能就是複合熱處理的時代了。

## 3.1 超深冷處理

普通深冷處理是用乾冰 ( -80 °C )，超深冷處理是用液態氮 ( -196 °C ) 來處理。超深冷處理，另名為 Cryogenic treatment，已有 Cryotech、Ellenite、Perm-0-Bond 等之商名而工業化。

通常經普通深冷處理的處理件，硬度會增高，尺寸會安定化，耐磨耗性增高。施行超深冷處理者，硬度幾乎不定，可是其耐磨耗性却高於未深冷處理件之 2.0 ~ 6.6 倍，比經普通深冷處理者高 2 ~ 3 倍，所以 SKS、SKD、SKH 等之工具鋼推荐做超深冷處理。

再者，由深冷處理溫度欲使升到室溫時，不宜在空中放置而應投進水中或熱水中，使其內應力消除，因而更能使工具之切削性能提高。此種處理稱為 Up-hill quenching，超深冷處理與 Up-hill quenching 應用有效，應用於焊接用之銅電極時，耐變形性增加，焊接量據說會增加 5 ~ 6 倍。這也是新的應用例。

## 4.1 加壓深冷 ( press subzero )

深冷處理即是將殘留沃斯田鐵 (  $r_R$  ) 轉變為麻田化。是故這時候加以加壓，則由於變態超塑性，可以矯正淬火變形 ( 彎曲 )。回火溫度 400 °C 以上之時，加壓回火很有效，但是回火溫度 200 °C 左右時的 SK、SKS、SKD11 等等則不能應用加壓回火。如此情況之下只能利用加壓深冷。這加壓深冷為利用  $r_B$  的矯正彎曲，也可以說和加壓淬火 (  $\gamma-M$  ) 同樣原理。個人認為對於低溫回火品的矯正彎曲，這加壓深冷定能開拓新的技術。

## 4.2 $r_B$ 、 $\sigma_R$ 的有效運用

熱處理時必會存在沃斯田鐵 (  $r_R$  ) 與殘留應力 (  $\sigma_R$  )。但是，若是忘記這兩個存在就無法談到熱處理零件的性能如何。將  $r_R$  和  $\sigma_R$  如何有效調節便是控制熱處理，有效善用  $r_B$

和 $\sigma_n$ 的熱處理即是今後熱處理的形態，這一點應該銘記。

### 參 考 文 獻

1. 大和久重雄，“複合熱處理”，熱處理，第18卷1號，1978，pp.15～19頁。
2. 大和久重雄，鑄鍛造と熱處理，1983.7，pp.9～17頁。
3. 黃振賢，機械月刊，第67期，1981，pp.63～69頁。
4. 大和久重雄，鋼・熱處理アラカルト，日刊工業新聞社，1985，pp.151～198頁。