

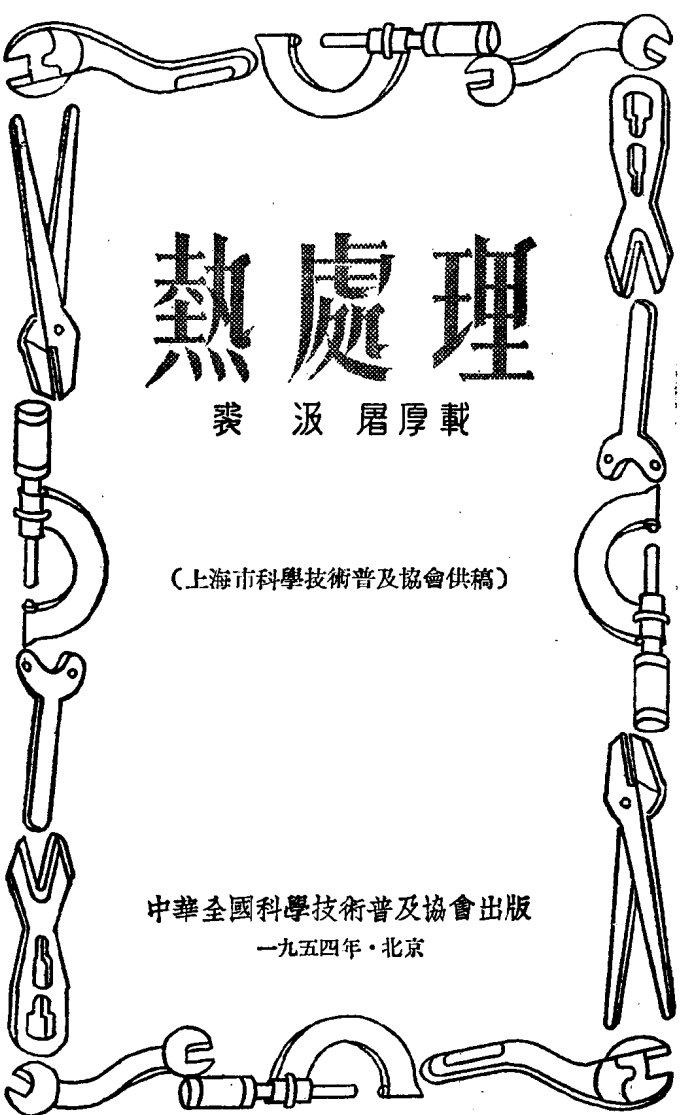
機器製造
技術知識

熱處理

裴 汲 屠厚載

中華全國科學技術普及協會出版

4330



熱處理

裴 汲 屠厚載

(上海市科學技術普及協會供稿)

中華全國科學技術普及協會出版

一九五四年·北京

機器製造技術知識

機械圖認識入門	王忠德 陸志偉	伍耀祥 楊錦銓	著	九月出版
金屬材料	林汝鐸	趙禾生	著	3,800 元
鑄工和鍛工	朱建霞 周肇基	陳 農 王錦儒	著	1,500 元
金 工		陳克成	著	十月出版
熱 處 理	裘 汲	屠厚載	著	1,200 元

出版編號: 077

熱 處 理

著 者:	裘 汲 屠 厚 載
責任編輯:	孔 祥 璣
出 版 者:	中華全國科學技術普及協會 (北京文津街三號)
發 行 者:	新 華 書 店
印 刷 者:	北 京 市 印 刷 一 廠

1—7,500 一九五四年九月北京第一版
定價: 1,200元 一九五四年九月北京第一次印刷

目 次

概說	1
鋼在加熱和冷卻時的轉變	2
熱處理的各種主要工藝過程	7
熱處理用的爐子及溫度計	24

封面設計：沈左堯

概 說

熱處理，就是將鋼鐵所製成的機器零件或胚料，用加熱爐燒到一定的溫度，再以不同的速度使它冷卻，以改變鋼的內部組織和它的強度、耐磨性、韌性等機械性能的操作方法。熱處理的一般目的，約有下列幾點：

1. 鋼件經過了各種不同的熱加工（如鍛打、鑄造、延壓、銲接等）和冷加工（如車、銑、刨以及冷作等）後，因受加工時的外力的作用，它的內部組織往往變得不均勻，結果在同一個鋼件上，它的性能也表現得很不均勻，這樣是不符合做機器零件的要求的；也就是說鋼件經過了熱加工和冷加工之後，內部產生了內應力，這種內應力會減弱機器零件的優良性質，必須用熱處理的方法來消除它。

2. 一定的熱處理可以減低鋼件的硬度，增加延展性和韌性。

3. 一定的熱處理可以提高鋼的切削能力（如工具鋼製

的車刀，銑刀等），或是它的切削性（使鋼容易被切削）。

4. 一定的熱處理可以增加鋼的硬度、耐磨性，改善它的耐蝕性。

5. 改善鋼的內部組織，以附合應用的要求。

6. 使鋼的表面硬化而內裏仍舊保持一定的韌性。

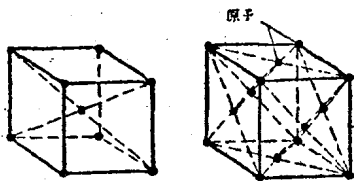
7. 使鋼的表面的化學成份發生變化，以配合機械上的特殊需要。

熱處理的主要操作有：退火、正火、調質、淬火、表面淬火和回火，以及滲炭、滲氮、氰化等化學熱處理的表面硬化法。

鋼在加熱和冷卻時的轉變

鋼鐵在受熱處理時，其性質是隨着加熱溫度的高低不同、冷卻的快慢不同而轉變的，我們利用鋼的這種特性，用各種不同的方式加熱和冷卻，就能使它轉變得符合於我們的需要。

大家都知道，水因溫度的不同，從外表上能看出有汽、液體、冰三種不同的狀態，這種變化我們稱爲「狀態的變化」。鋼鐵在經過加熱和冷卻後，其內部組織結構也發生了變化，也因溫度高低的不同，冷卻快慢的不同，產生了各種不同性質的組織，但是鋼鐵內部的組織雖然改變了，性質



圖一 甲

乙

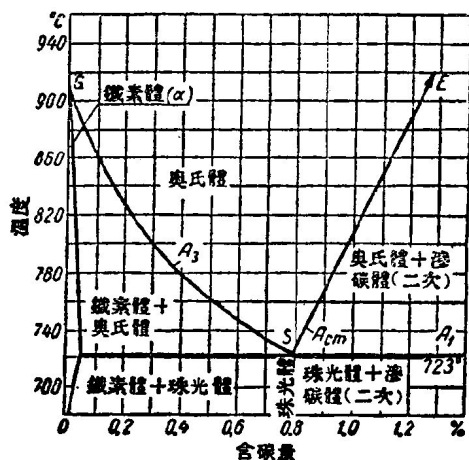
體心立方體原子排列 面心立方體原子排列

也變得不同了，而外表的形態却還沒變，因此我們用眼睛看外表，就看不出這種變化；這種變化我們稱爲「同素異性變化」。純鐵從平常溫度一直到 910°C 時，是體心立方體，如圖一、甲。所謂體心立方體是指原子的排列成體心立方的狀態：一個立方體有八隻角，每隻角上有一粒原子，在立方體的中心還有一個原子，原子像這樣排列的叫做體心立方體。 910°C 以下的純鐵，又叫做 α 鐵。純鐵在 910°C 到 1350°C 時是面心立方體如圖一、乙，原子排列在一個立方體上除了八個角上有八個原子外，在立方體的六個平面中心也有六個原子，這樣的鐵體又叫做 γ 鐵。但在 1350°C 到 1535°C 時却又成爲體心立方體，叫做 β 鐵。 1535°C 以上才爲熔液。在 1535°C 以下雖都是固體的鐵，但是各異其形，所以叫做同素異形體。這樣的變化就叫同素異形變化。此外，鋼鐵熱到某一種溫度時，它的磁性也隨着發生變化，我們叫做「磁性變化」。

鋼鐵在各種變化發生時，開始轉變時的溫度叫做「臨界點」，也叫「臨界溫度」。在水來說， 0°C 時開始結冰， 100°C 時開始化成水汽， 0°C 和 100°C 的溫度平時叫做水的冰點和汽化點，都是水的「臨界點」。鋼鐵的「臨界點」在應用方面，以溫度高低的不同，分爲低臨界點（常以 A_1 表示）、磁性變化點（常以 A_2 表示）、高臨界點（常以 A_3 表示），可是因爲鋼在加熱時和冷卻時的幾個臨界點溫度並不相同，爲了容易區別起見，我們平時就以 AC_1 、 AC_2 、 AC_3 等符號分別表示加熱時的三個臨界點，而以 Ar_1 、 Ar_2 、 Ar_3 等符號

分別表示冷却時的三個臨界點。

研究鋼的三個臨界點的地位，也就是研究鋼的構造和溫

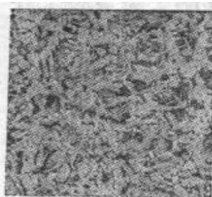


圖二 鐵碳平衡圖

度的關係，我們可以根據冶金學家研究得到的鋼的構造圖來加以說明見圖二。 AC_1 點約在 723°C 左右。在常溫或者 723°C 溫度以下時，鋼的組織為純鐵體（又稱肥

粒體，就是純鐵，

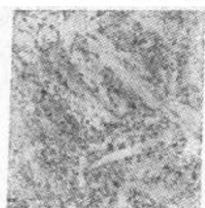
性質很軟而展性很好，切削加工時會黏刀。）和珠光體（鋼鐵裏所含的碳素有時和鐵化合成碳化鐵，有時單獨存在。碳化鐵質硬而脆不能加工，叫做雪門碳體。它和純鐵體的層狀的緻密混合物，放在顯微鏡下看，有像珠蚌殼似的光彩，所以叫做珠光體。）如圖三。如果溫度超過 AC_1 點時，則珠光體變成另一種組織，在顯微鏡下可以看到改變後的組織中有純鐵體和新的顆粒狀的東西。繼續加熱到 AC_3 點時，顯微鏡下已看不到原有的組織，看到的是一種固體狀的融溶物，



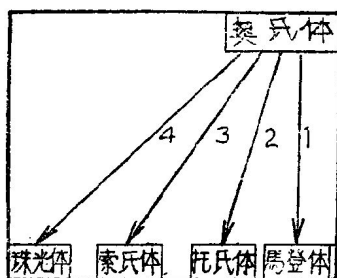
圖三 珠光體

質很軟而展性很好，切削加工時會黏刀。）和珠光體（鋼鐵裏所含的碳素有時和鐵化合成碳化鐵，有時單獨存在。碳化鐵質硬而脆不能加工，叫做雪門碳體。它和純鐵體的層狀的緻密混合物，放在顯微鏡下看，有像珠蚌殼似的光彩，所以叫做珠光體。）如圖三。如果溫度超過 AC_1 點時，則珠光體變成另一種組織，在顯微鏡下可以看到改變後的組織中有純鐵體和新的顆粒狀的東西。繼續加熱到 AC_3 點時，顯微鏡下已看不到原有的組織，看到的是一種固體狀的融溶物，

這種固溶體是由碳溶解在面心立方體鐵裏生成的，我們叫它做奧氏體。 AC_2 點約在 770°C 左右，在這溫度以上，鋼就失却磁性。以上是用鐵碳平衡圖說明鋼加熱時組織的變化情況。如果我們將鋼加熱後緩慢地冷卻下來，自 Ar_3 冷到 Ar_2 時，鋼就又恢復了磁性。再繼續冷到 Ar_1 時，它的組織也逐漸又變為原來的組織。可是當鋼的溫度在 AC_3 ，組織是奧氏體的組織時，不使它緩慢地冷卻，而以極快的速度（譬如說每秒鐘冷卻 50°C ）使它冷卻，那麼它所轉變的組織便完全不同了，新的組織在顯微鏡下看起來是一種針狀的交叉構造，它既硬又脆，這種組織我們叫做馬登體（也叫麻田散體），如圖四。如果冷卻速度變慢，則又會生成另外的一種組織。插圖五表示奧氏體的轉變



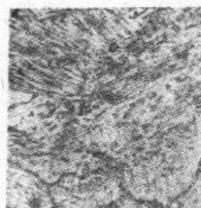
圖四 馬登體



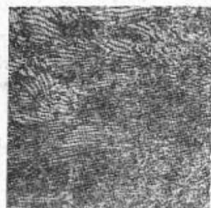
圖五 奧氏體的轉變與冷卻速度關係的示意圖。（圖中線的長短代表冷卻時間的長短）

和冷卻速度的關係：1 線最短，即冷卻的速度最快，能獲得硬度很高的馬登體，2 綫稍長，即冷卻速度較慢，轉變的組織即為托氏體，如圖六，它的強度很高，但塑性不大；3 綫更長，可得索氏體組織，如圖七，是比托氏體軟比珠光

體硬的組織：4 綫最長，得到的是珠光體。托氏體，索氏



圖六 托氏體



圖七 索氏體

體和珠光體一樣，都是層疊的碳化鐵和純鐵的混合物。鋼經過急冷獲得很高硬度的馬登體以後，重新在較低的溫度中加熱，它的組織還是

能轉變為托氏體、索氏體或是珠光體的。

上面說到的將鋼加熱到 AC_3 溫度以上，使它變成奧氏體的組織，再以快速冷却使它變成馬登體，以增加其硬度與強度的方法叫淬火。將淬火後已經獲得馬登體組織的鋼，重新加熱以獲得穩定的馬登體或者使它轉變為其他組織的方法叫回火。下面是鋼的各種不同組織的性能：

鋼的組織成份	布氏硬度	抗張力公斤/毫米 ²	延伸率 %
純鐵體	80~100	28	30~40
滲碳體	700	—	—
珠光體	200~250	85	20~25
索氏體	250~400	70~140	10~20
托氏體	400~500	140~175	5~10
馬登體	500~650	175~210	2~8
奧氏體	300±	85~105	20~25

（布氏硬度是金屬硬度的一種單位，適用於測量未經淬火的材料）

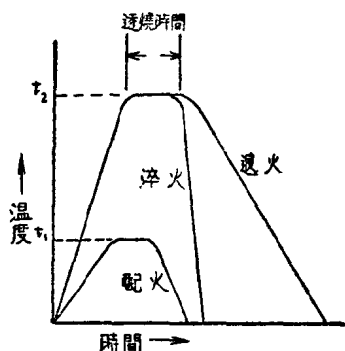
機器上的零件各有各的要求，只要熱處理操作者根據設計者在加工圖紙上關於需要用什麼材料做，應該有多少硬度

等等的說明，按照鋼料的類別，用不同的溫度和不同冷卻速度加以處理，便可獲得圖紙上的要求。在上表中我們可以看出，馬登體最硬，抗張力也最大，但是延伸率却最小，這說明淬硬後的鋼件，是有脆性的，禁不起衝擊。

熱處理的各種主要工藝過程

熱處理的各種主要工藝過程，可以用溫度的高低和冷卻速度的快慢來區分，如圖

八所示，以 t_1 為低臨界點溫度以下的回火溫度， t_2 為高臨界點溫度，各種操作就有不同的加熱溫度和不同的冷卻速度。分別說明如下：



圖八 熱處理工藝過程示意圖

1. 退火——退火就是將鋼件加熱到 AC_3 溫度以上，（高過 AC_3 約 $30^\circ \sim 50^\circ C$ ），在這個溫度透

燒適當的時間，也就是保持一個適當的時間，然後緩慢均勻地冷卻，或者在冷到規定的溫度時再作間歇性的停留，再在空氣中冷卻。退火的目的是：（1）減低硬度；（2）消除內應力；（3）改善切削性；（4）增高延展性和韌性等。退火的方法應隨鋼材的類別決定，下面是幾種退火操作的方法：

鋼的名稱	退 火		
	溫度°C	冷 却 方 法	布氏硬度值
中碳鋼	~800°	以每小時 100°~200°C 的速度冷到 500°C 後，放在空氣中冷到室溫	180 左右
高碳鋼	760°~ 780°	以每小時 50° 左右的速度冷到 600°~550°C，放在空氣中冷到室溫	190 左右
合金鋼	780°~ 800°	以每小時 20°~40° 的速度冷到 500°C 左右，放在空氣中冷到室溫	225~250 左右

高速鋼的退火溫度一般採用 870~890°C，燒到這個溫度後，保持 3~4 小時，然後以每小時 20~40°C 的速度冷到 750~760°C，再在這個溫度以每小時 6~10°C 速度冷到 600°C，便可在空氣中冷到室溫；硬度約在布氏硬度 207~255 之間。但是這個方法所用時間比較長，可以採用等溫退火法代替。等溫退火法是先進的退火方法，需要的時間要少得多，就是：先把高速鋼加熱到 870~890°C 後，在這個溫度透燒 3~4 小時，然後以每小時 40~50°C 速度冷到 720~700°C，在這個溫度停留 2~4 小時，最後取出在空氣中繼續冷却；硬度約為 260 布氏硬度值。

高速鋼和合金鋼退火時，因為加熱時間較長，為了防止表面層氧化，可以先將鋼件裝入鑄鐵箱中，以生鐵屑或砂、木炭屑等四面填滿，用耐火泥封好箱蓋後，再送入爐裏加熱。用這種裝箱退火的辦法時，選用的填料，必須要根據溫度決定，不然會使鋼件脫碳或滲碳，影響鋼料的品質。下面是各種填料在不同溫度時的性能：

填料的效用範圍

填 料 名 稱	脫 碳	中 性	滲 碳
木炭屑	750°~820°C	820°~850°C	850°~1200°C
焦炭屑	750°~910°C	910°~1100°C	1100°~1200°C
新生鐵屑	—	—	750°~1200°C
用過生鐵屑	750°~850°C	—	850°~1200°C
砂	850°~1200°C	750°~850°C	—

2. 正常化——也叫正火。正常化是將鋼加熱到高臨界點以上 30~50°C 的溫度（高過 AC_3 30~50°C），然後從爐內取出，在靜止空氣中冷卻。正常化的目的是使鋼的組織變細緻，以增加其強度和韌性，減少內應力，提高低碳素鋼的切削性能。

正常化以後的鋼的強度比退火後的鋼高，韌性却低些。正常化操作在熱處理中是最經濟的一個工序，可以代替一般的低碳鋼、中碳鋼的退火。

滲碳後的鋼件，在淬硬之前正常化一次，可以改善滲碳層的組織。

3. 淬火——將鋼燒到臨界溫度（見下文注意事項）以上，急速使之冷卻，以增加其硬度和強度的處理，就叫做淬火。在淬火操作時必須注意下列各項：

淬火的溫度 淬火溫度是根據鋼的組織成分和技術要求，選定的以碳素鋼為例，在鐵碳平衡圖上可以看出， AC_3 點因含

碳量不同而異，所以知道了鋼的成分，就可以決定淬火的溫度，含碳量在0.8%以下的碳素鋼，淬火溫度應在 AC_3 上 30°C 左右，如果是含碳量超過了0.8%的碳素鋼，淬火的溫度則應在 AC_1 上 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 左右，這種鋼經過了快速冷卻以後的組織是馬登體。

加熱和透燒的時間 不同種類、不同厚度的鋼件應用不同的加熱時間，如合金鋼的加熱和透燒的時間就要比碳素鋼多30~50%。我們在確定熱處理件淬火加熱和透燒時間時，必需考慮下列幾點因素：

(1) 加熱爐：在常見的熱處理加熱爐中，爐子的種類很多，傳熱有快有慢，有各種不同的加熱方式，如用箱式爐加熱是利用熱的輻射，有電爐、燒油爐、煤氣爐等；用鹽浴爐（鉛浴爐等）加熱是利用熱的傳導。因為加熱爐及熱的傳導方式不同，輻射式爐加熱較慢，鹽浴爐較快，鉛浴爐最快，所以如果以同樣成份及大小的鋼件在上列各種不同爐子中加熱，就要用不同的時間才行，如果在鉛浴爐中加熱的時間需要1分鐘，用鹽浴爐就要2分鐘，而在箱形輻射爐中就要6分鐘。

(2) 厚度及形狀：在加熱的過程中，因為熱是自鋼件的外部向中心傳的，所以鋼件愈厚，加熱與透燒的時間需要愈長，較大的淬火件，還需要先在較低溫度的爐子內預熱，合金鋼中甚至有需要預熱兩次才好淬火的。預熱就是先在溫度較低的爐中加熱到一定的溫度，然後再在溫度較高的爐子中加

熱到淬火溫度的手續。這樣做是爲了避免淬火件突然受到很高的溫度，由於內外溫度差別過大，各部分的脹縮不同，產生內應力，引起變形和破裂。

決定加熱時間的時候，鋼件的形狀也很有關係，形狀因素與加熱時間的長短影響很大，如球狀，圓柱狀，方柱狀加熱時間的比例約爲 1:1.5:3。

(3) 在爐中放置的間隔位置：鋼件裝入加熱爐時，如果密集的堆起來，鋼件的受熱面就會相互被遮蔽，加熱起來就慢，所以放置時必須相互間留適當距離，不然就要考慮加長加熱時間。

快速加熱法 快速加熱法是蘇聯鋼件加熱的先進操作法，尤其對斷面大的鋼件用起來效率更高。鋼件本來的加熱時間約爲每 1 毫米厚度化一分鐘左右，而快速加熱法則只要 15 秒鐘。操作的方法一般在箱式爐中進行：首先將爐子加熱到 950°C 左右，然後將鋼件放入爐中加熱，因爐子溫度已經很高了，鋼件放入後受熱的速度也就加快了，這樣就能達到快速加熱的目的。這個先進的方法可以大大的減少熱處理設備，提高設備的產量，節約其他各種動力及輔助材料的消耗量。

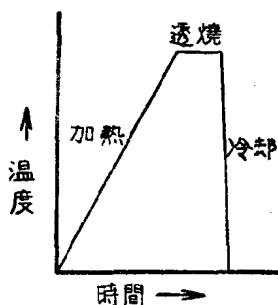
淬火劑 淬火時用來使加熱後的鋼件冷却的材料叫淬火劑，或冷却劑。淬火時應用的淬火劑應依淬火的要求來確定，淬火劑的種類很多，如靜止的和流動的空氣、水、鹽水、鹼水、油、熔融的鹽類、熔融的金屬等都是。對於熱處

理鋼件的質量來說，淬火劑必須在 $550^{\circ}\sim 600^{\circ}\text{C}$ 溫度的範圍內能够使鋼件加快冷卻，到了 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的溫度，要使冷卻緩慢，這樣才可以使鋼件減少變形和因產生內應力的緣故而發生破裂。

淬火的方法

(1)單液淬火法：這是一種最普通最簡單的淬火方法，就是鋼件在加熱爐中加熱到淬火溫度後，馬上取出將它

浸入到冷卻劑裏，直到完全冷卻時為止。這種操作的過程可以用圖解表示，如圖九。因為鋼件的形狀不一，一個鋼件上的斷面有大有小，大的斷面冷的慢，小的斷面冷得很快，所以用單液淬火法時，會在鋼件的內部引起相當大的內應力，容易發生彎曲



圖九 單液淬火法處理過程

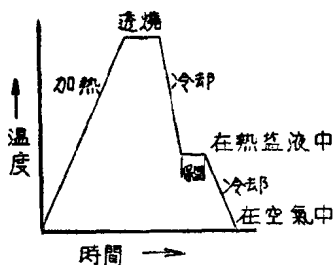
變形、甚至發生裂紋。

(2)雙液淬火法：為了避免單液淬火法的缺點，我們可以採用雙液淬火法，就是當鋼件從爐內取出後，先淬入水槽內冷到 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 溫度，馬上拿出來浸在油槽內作最後冷卻。這個方法雖然可以避免或減少單液淬火法的缺點，但是掌握第一次在水中停留的時間全憑工作者的經驗，很不容易控

制準，同時這種方法也僅適用於高碳鋼的小工具。

(3)分級淬火法：爲了改進雙液淬火法的缺點，使第一次從水中拿出來的溫度變得容易控制，我們可以用分級淬火法進行操作。因爲鋼有一種特性，就是在轉變爲某一種組織結構時，必需有它一定的溫度和相當的時間，因此我們只要掌握住溫度和時間，就能一步步地掌握它的變化。例如一件高碳鋼做的工具，需要有很高的硬度，而硬度最高的組織是馬登體，我們事先已經知道了這種鋼件轉變爲馬登體的溫度是 200°C ，因而在操作的時候，就可以事先預備好具有 230°C 左右溫度的鹽浴槽，等鋼件自爐中取出後立即就淬入鹽浴槽內，停留個短時間後再取出冷在空氣裏，這樣就能達到淬硬的目的。因爲當鋼件從爐中取出淬入具有 230°C 的鹽槽中，經過一定時間後，鋼件截面上各點就能達到與鹽槽相同的溫度，然後再緩慢的冷却，

就不致產生很大的內應力。這種方法是先將鋼件第一次冷却到 230°C ，然後再冷却到室溫，分爲二級進行的，所以稱爲分級淬火法。這種方法，也不是到處可用的，一般只限用於截面爲 $12\sim 14$ 毫米的鋼件，它的操作過程也



圖十 分級淬火的處理過程