

鋼鐵工業知識

# 鋼的熱處理

何憲治



科學普及出版社

总号：453

## 鋼的热处理

---

著 者：何 忠 治

出版者：科 学 普 及 出 版 社

(北京市西直门外大街)

北京市書刊出版業營業登記證出字第091号

發 行 者：新 华 書 店

印 刷 者：北 京 市 印 刷 一 厂

(北京市西直門南大街乙1号)

---

开本：787×1092  $\frac{1}{32}$

1957年2月第1版

1957年2月第1次印刷

印張：1

字數：19,600

印數：10,700

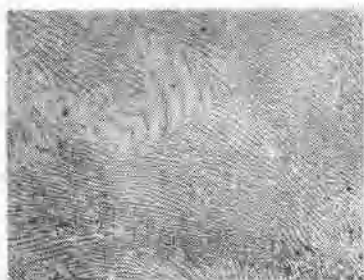
統一書号：15051·30

---

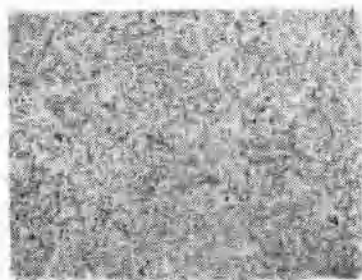
定价：(9)1角3分



1. 馬氏體組織。



2. 片狀珠光體組織。  
(黑條為滲碳體基底為鐵素體)

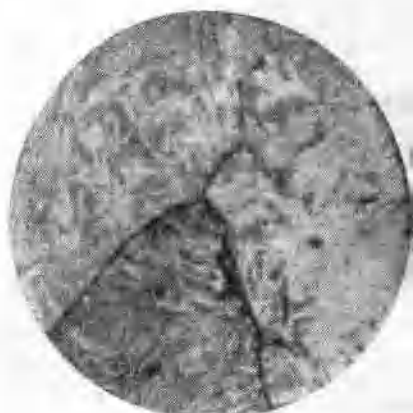


3. 球狀珠光體組織。  
(小球為滲碳體基底為鐵素體)

CAB48/15



4. 滲碳體(白色)+珠光體(黑色)組織。



5. 鋼的過燒現象。

## 鋼件熱處理的意義和目的

將鋼材或制成的機件以及半成品加熱到一定溫度，在這個溫度下保持一定的時間，再以不同的速度冷卻下來，這個操作過程叫做熱處理。鋼經過這種處理後，它的性能就改變了。我們就利用這種方法使鋼具有我們所需要的性能。

鋼在加熱和冷卻的影響下，能夠改變性能的這一性質，很早就被發現，並且加以利用。古時候，人類就已經知道紅熱的鋼迅速地冷卻後，就會變硬和變脆；如果再加熱後，慢慢地讓它冷卻，鋼就又会變軟和變韌。例如：把一塊鋼切成二半，一半加熱到紅熱狀態，然後使它慢慢地冷卻（退火）下來；另一半在加熱到紅熱狀態時，把它鍛成錐形，並在水中使它迅速地冷卻（淬火），然後再稍微加熱一下（回火）。經過這樣處理後，迅速冷卻後的一半鋼就能穿過經過緩慢冷卻的另一半鋼（圖1）。又如一塊含1%碳的鋼經淬火和低溫回火後，做成車刀，這樣就可以切割一塊含有同樣碳量的但經過退火的鋼。此外，也可以只將鋼的表面進行熱處理，使它變硬，來用作表面常遭摩擦的機件；也可以在高溫下，改變鋼件表面的化學成份，再進行熱處理，使它變硬，等等。

鋼的熱處理近年來有了迅速的發展和廣泛的應用，我們不但掌握瞭許多重要的熱處理方法，並且也研究了熱處理的理論。熱處理已經成為一門獨立的技术科學了。

含碳量極少（0.1%以下）的鋼，加熱後改變冷卻速度，它

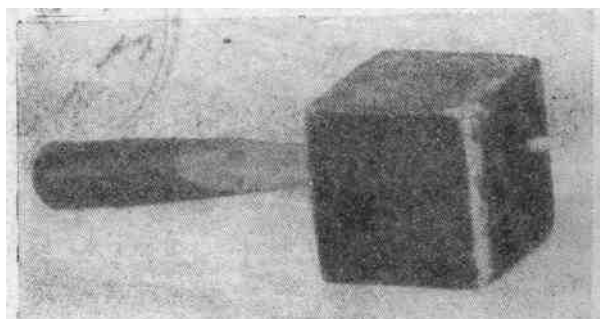


圖 1 鋼熱處理的效用。

的性能沒有多大的改善，所以不必經過淬火、回火等熱處理過程。中碳鋼（含 0.3—0.6% 碳）經淬火、回火等熱處理後，可以得到更好的強度和韌性，用來做各種機件。高碳鋼（含 0.7—1.3% 碳）的淬火、回火等熱處理的目的，是增高鋼的硬度，以便做各種工具用。我們在鋼中加入各種合金元素，其中一個最重要的目的，就是為了使這些合金鋼在熱處理後，能夠得到更好的性能，合金鋼必定要經過熱處理後，才能發揮出它的優點。

鋼材在出廠以前，必須先進行熱處理，使鋼材得到一定的性能（如使鋼材便於切削等等），然後才能賣給機械廠。機械廠的成品在出廠以前，也要經過一定的熱處理過程，使機件達到用戶所要求的性能，如耐磨、經久、不疲勞等等。所以熱處理往往是生產的最後一個程序，因而也顯得分外重要。合適的熱處理能使成品的性質大大地改善；如果熱處理得不恰當，就會造成極大的損失。

## 鋼的熱處理的基本理論

正確的熱處理方法是保證鋼材或機件質量的主要關鍵，但

在研究鋼的熱處理方法之前，必須要先了解在熱處理過程中鋼的內部組織的變化，也就是說鋼在加熱和冷卻過程中的變化。

自然界中所見到的物體都是由極小的質點所組成，我們把這些小質點叫做原子。如果物體的原子排列成很有規律的結構（如水凍結成冰，它內部的原子，就成又很有規律的排列），我們就把這種物體叫做結晶體。所有的金屬都是結晶體，鋼鐵也不例外。

在室溫時，鐵原子有規則地排列成如圖 2(a) 所表示的立方體形狀：8 個鐵原子各佔據一個角，立方體的中心也有 1 個鐵原子佔據着，這種結晶構造，就叫做“體心立方體”。有這種結晶形狀的鐵稱為“ $\alpha$ -鐵”。無數個立方體就組成一塊鐵。當溫度升高到  $910^{\circ}\text{C}$  時，“ $\alpha$ -鐵”原子的排列突然發生了變化，形成如圖 2(b) 所表示的立方體形狀：在立方體 8 個角上各有 1 個鐵原子外，在

立方體各個面的中心，也都佔了一個鐵原子，這種結晶構造叫做“面心立方體”。

有這種結晶形狀的鐵就叫做

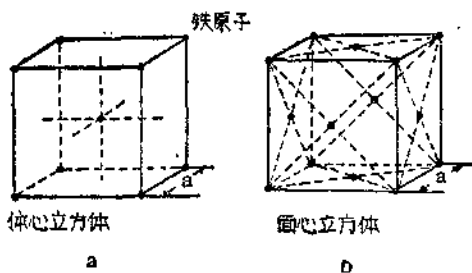
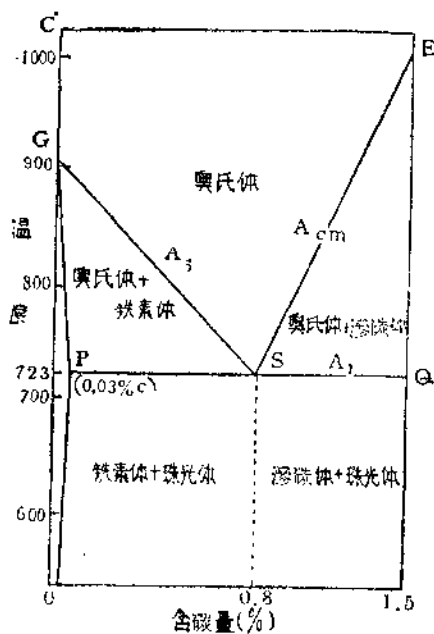


圖 2 鐵原子排列。

“ $\gamma$ -鐵”。如果溫度再升高到  $1390^{\circ}\text{C}$  時，“ $\gamma$ -鐵”又會由面心立方體轉變為體心立方體的“ $\alpha$ -鐵”。鐵的這種轉變，就叫做“同素異形轉變”。

原子排列的開始轉變的溫度，如  $910^{\circ}\text{C}$ 、 $1390^{\circ}\text{C}$  等，叫做

临界温度或临界点。較低的轉变温度叫做下临界温度， $910^{\circ}\text{C}$ 是純鐵的下临界温度，用符号“ $A_3$ ”表示；較高的轉变温度叫做上临界温度， $1390^{\circ}\text{C}$ 是純鐵的上临界温度，用符号“ $A_4$ ”来表示。鋼因为含有杂质（主要是碳），所以它的临界温度就随着所含杂质的量的不同而改变，和純鐵的临界温度不同。很多金屬学家研究关于鉄碳关系和試驗的結果，就得到了如圖3所表示的鉄碳平衡圖，这



里只是整个平衡圖中表示鋼的一部分，这个平衡圖在鋼的热处理中，具有重大的意义。由圖3可以看出：鋼中含碳量的不同，它的上临界温度 $A_3$ （或 $A_{cm}$ ）也就不同，但下临界温度 $A_1$ 却保持不变，在圖中表示为一直线，它的温度为 $723^{\circ}\text{C}$ 。因此我們在热处理一种鋼时，必須要先知道鋼的化学成份，尤其是含碳量的多少。由于同一成份的

圖3 鉄碳平衡圖的鋼的部分。

鋼临界温度的位置在加热和冷却过程中并不相同，为了区别起見，就以 $Ac_3$ 、 $Ac_1$ 等符号分别表示加热时的上下临界温度，而以 $Ar_3$ 、 $Ar_1$ 等符号分别表示冷却时的上下临界温度。

現在我們研究一下鐵碳平衡圖中所表示的幾種基本組織情況：

(1) 奧氏體  $GS$  線以上的區域是  $\gamma$ -鐵中溶解了一部分碳，這叫做“固溶體”。好像鹽溶解在水中成為溶液的意義一樣，固溶體只不過是某種元素（如碳）在固體狀態下溶解在另一種固體狀態的元素（如鐵）里。碳溶解在  $\gamma$ -鐵中的固溶體的組織，就叫做“奧氏體”。圖 4 是在顯微鏡下所看到的奧氏體

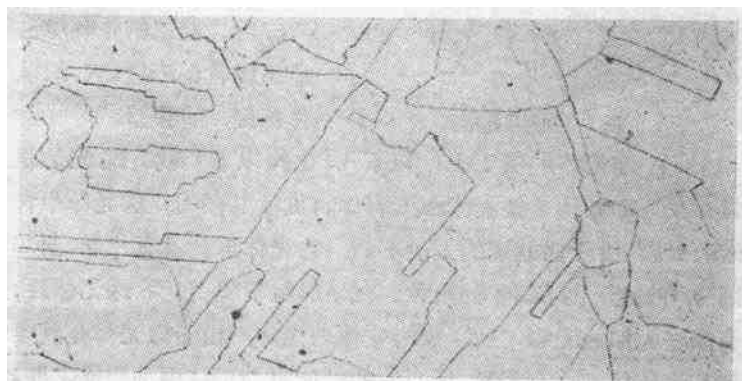


圖 4 奧氏體組織（放大 500 倍）。

組織。對一般鋼說來，奧氏體在高溫時才存在。奧氏體中最多可溶解 2% 碳（在  $1130^{\circ}\text{C}$  時）。這種組織很軟，受得住沖擊力的作用。

(2) 鐵素體 碳溶解在  $\alpha$ -鐵中的固溶體的組織叫做“鐵素體”（圖 5）。在  $GS$  線 ( $J_2$ ) 以下就開始有鐵素體組織存在，直到室溫。由圖 3 可以看出，鐵素體中溶解的碳量很少，它在室溫時只能溶 0.008% 碳。當溫度升高時，所溶解的碳略有增加，在  $723^{\circ}\text{C}$  時可以溶解 0.03% 碳。鐵素體組織很軟，機械



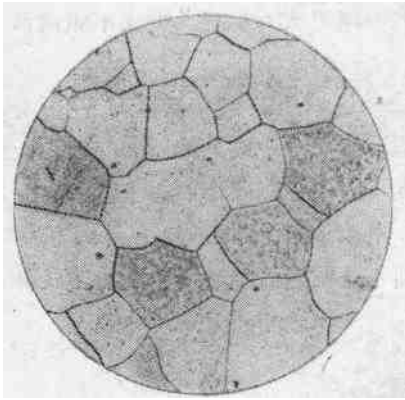


圖 5 鐵素體組織。

性能很低。

(3) 滲碳體 滲碳體也叫做碳化鐵( $\text{Fe}_3\text{C}$ )，在  $A_1$  綫( $A_{cm}$ ) 以下就開始有滲碳體存在，直到室溫。滲碳體是碳和鐵組成的一種化合物，其中碳占 6.67%。封二第 4 圖中白色組織就是滲碳體。滲碳體極硬，也很脆。

(4) 珠光體 在  $723^\circ\text{C}$  以下 ( $PQ$  綫以下) 就有珠光體組織存在。珠光體是鐵素體和滲碳體的機械混合物。珠光體中含碳 0.8%。由於熱處理的方法不同，珠光體形狀就有片狀(封二圖 2)和球狀(封二圖 3)兩種。在顯微鏡下觀察片狀珠光體時，有像蚌殼似的光彩，所以就叫它作珠光體。由於珠光體是鐵素體和滲碳體的混合組織，所以它的性能也介乎這兩種組織之間。

由以上所敘述的幾種基本組織可以總結出，碳以兩種形態存在於鋼中：1. 溶解在鐵中形成固溶體，如奧氏體、鐵素體；2. 和鐵化合，如滲碳體。這兩種形態也可以同時存在於鋼中，就如珠光體。

下面根據鋼不同的含碳量，分別舉例說明在緩慢加熱和冷卻時鐵碳平衡圖上的組織的變化。

(1) 含碳 0.80% 的鋼：在室溫時鋼的原始組織是片狀珠光體，當加熱下臨界溫度  $A_1$  時，片狀珠光體就轉變為奧氏體。我們知道珠光體本身的碳原子分布得很不均勻，它們大部分

都集中在滲碳體中（滲碳體薄片中含 0.67% 碳），而在鐵素體薄片中含碳量極少。當加熱時，片狀珠光體中滲碳體薄片內的碳原子，開始轉移到珠光體本身的鐵素體薄片中去，就是說溶解在鐵素體中。當碳原子均勻分布在原來的珠光體的全部體積中時，就形成奧氏體。為了較容易地想像這種轉變的特點，我們可以舉例來說明：假設有幾片面包疊在一起，每兩片面包之間都塗有一層黃油，面包可代表片狀珠光體中的鐵素體薄片，黃油代表珠光體中的滲碳體薄片，面包夾黃油這個整體就代表珠光體；當加熱時，黃油逐漸融化，滲到面包中去，並均勻地分布在裡面，這表示滲碳體中的碳原子溶在鐵素體中，最後得到的是均勻浸有黃油的面包，那就等於奧氏體。溫度繼續升高時，奧氏體結粒也逐漸長大。

在 723°C 以上完全是奧氏體組織。當冷卻到下臨界溫度  $A_{r1}$  時，奧氏體中的  $\gamma$ -鐵變為  $\alpha$ -鐵，並且將所溶解的碳同時析出，所析出的碳和鐵化合成滲碳體。從整個來看，奧氏體又變成片狀珠光體。

(2) 含碳在 0.80% 以下的鋼

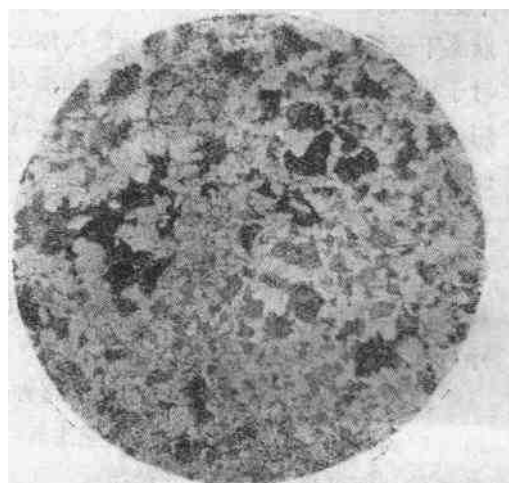


圖 6 0.30% 碳鋼的組織。  
(黑色組織為珠光體；白色組織為鐵素體)

(以含 0.30% 的碳鋼为例): 在室温时, 鋼的原始組織是鉄素体 + 珠光体 (圖 6)。当加热到下临界温度  $t_{c1}$  时, 珠光体就变成奥氏体, 而鉄素体保持不变。温度繼續增加时, 鉄素体也逐漸变成奥氏体。当温度升高到上临界温度  $t_{c2}$  时, 全部都变为奥氏体組織。在冷却时轉变过程和上述相反。

(3) 含碳在 0.80% 以上的鋼 (以含 1.3% 碳鋼为例): 在室温时, 鋼的原始組織是滲碳体和珠光体 (圖 6)。当加热到下临界温度  $t_{c1}$  时, 珠光体就轉变成奥氏体, 而滲碳体保持不变, 温度繼續增高时, 滲碳体就逐漸溶解到奥氏体中, 当温度到达上临界温度  $t_{c2}$  时, 所有的滲碳体全部溶解在奥氏体中。当冷却时, 轉变过程和上述的相反。†

以上所說鋼在加热和冷却时的轉变, 都是在很緩慢的情况下进行的。这些組織在鉄碳平衡圖上都可找到, 这是鋼在最稳定状态下应当具有的組織。如果从奥氏体区域冷却时速度加快, 对于組織的变化就有很大的影响, 因而对鋼的性能也有很大的影响。奥氏体在快速冷却后不再轉变为珠光体, 而轉变为其他硬度較高的不稳定的組織。冷却速度愈高, 得到的組織也愈不稳定。这些組織按它的硬度高低的次序是“細珠光体”、“貝耐体”和“馬氏体”。我們在鉄碳平衡圖上找不到这些不稳定的組織, 但它們对热处理却有重大的关系, 在經過热处理的鋼材中, 会常常發現这些組織。

以含碳量为 0.80% 的鋼为例: 这种鋼由奥氏体状态慢慢冷却后的組織是珠光体, 如果快速冷却, 奥氏体来不及分解成珠光体, 而可以得到下列几种組織:

(1) 馬氏体 如果冷却速度極快, 像在水中冷却时, 所形

成的組織就叫做“馬氏體”(第二圖)。由於冷卻得太快，原來奧氏體中的碳，來不及呈滲碳體析出，而溶解在鐵素體中，使鐵素體中的含碳量遠超過它的溶解限度，因此馬氏體是碳在 $\alpha$ -鐵中的過飽和固溶體。這種組織極硬，也很脆，同時它也是最不穩定的組織。在顯微鏡下觀察，呈針狀。

(2) 細珠光體 冷卻速度較慢時(如在油中冷卻)，就形成“細珠光體”(圖7)，也叫做“屈氏體”。如果冷卻的速度

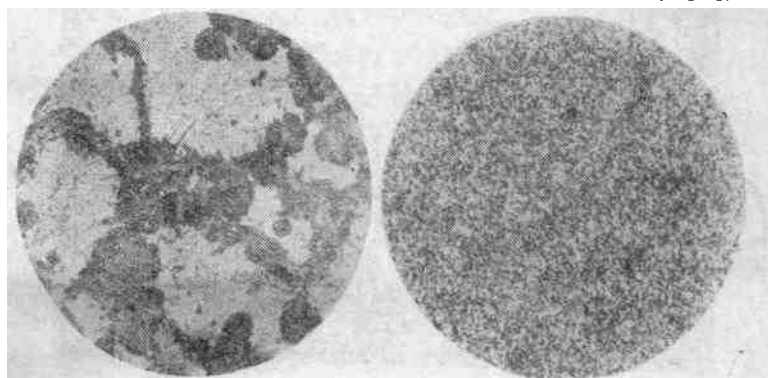


圖7 0.80%碳鋼在油中冷卻的  
細珠光體(黑色)+馬氏  
體(白色)組織。

圖8 0.80%碳鋼在鉛浴中冷卻  
的細珠光體。

更慢時(如在熱油或熔化的鉛中冷卻)，也可以得到細珠光體，但比油中冷卻所得到的細珠光體略粗，以前也稱為“索氏體”(圖8)。這兩種不同的細珠光體組織，都是由很細的鐵素體和滲碳體所組成。在油中冷卻的組織硬度很高，韌性較低；而在熱油中或熔鉛中冷卻的組織，硬度較低，但韌性很高。

(3) 貝氏體 也叫做“針狀屈氏體”(圖9)。當奧氏體冷卻到一定溫度時(300—500°C)，並且保持一段時間，使奧

氏体在一定的温度下分解完成，成为另一种組織，这就是“貝耐体”。它也是由細的铁素体和渗碳体混合組成。有些合金鋼在空气中冷却时也可以得到此种組織。这种組織的特性是具有高度的硬度和冲击韌性。



图9 貝耐体組織(黑色)。

由奧氏体迅速冷却变成馬氏体組織后，再加热到300—450°C（回火），可以得到回火屈氏体組織，这种組織的硬度比馬氏体低，但韌性比馬氏体高。当温度再升高到450—600°C（高温回火），可以得到回火索氏体組織，它的硬度比回火屈氏体又低一些，但韌性更高。回火后得到的屈氏体和索氏体，比直接冷却得到的細珠光体組織的机械性能、强度和韌性都要高一些。

以上所談的几种鋼的基本組織的机械性能，可以列表于下：

表1

鋼的基本組織的機械性能

鋼的組織名稱	布氏硬度 ( $H_B$ )	抗張強度 (仟克/毫米 <sup>2</sup> )	屈狀強度 (仟克/毫米 <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	斷面收縮率 (%)
奧氏體	170—220	—	—	—	—
鐵素體	80—100	25	12	50	80
滲碳體	820	—	—	0	—
珠光體	片狀190—230 球狀160—190	88	—	20—25	—
細珠光體	{ 270—320 { 330—400	70—141 141—176	— —	10—20 5—10	— —
馬氏體	616—760	176—211	—	2—8	—

## 熱處理的方法

熱處理的方法很多，但是可以分為下面兩種基本類別：

1. 將鋼材或機件加熱到指定溫度，保持一段時間，再以一定的速度冷下來。這類方法包括：退火、空中冷卻的正常化、快冷的淬火和回火等熱處理。

2. 用化學方法使鋼材或機件的表面化學成份改變，而中間仍舊保持原來的化學成份，以後再進行熱處理。這種熱處理方法又稱為化學熱處理，它包括滲碳、氮化和氰化等處理。

對鋼鐵廠來說，最常應用的是退火和正常化熱處理；但在機械廠、兵工廠、汽車及拖拉機廠等使用鋼材的地方，淬火、回火和化學熱處理卻顯得特別重要。下面將幾種常用的熱處理方法分別地介紹一下：

(一)退火：退火是將鋼加熱到臨界溫度以上(小於0.80%含碳量的在 $A_3$ 以上，大於0.80%含碳量的在 $A_1$ 以上)，在這

一个温度保持一段时间后，再让它慢慢地冷却下来（一般都随爐子冷却），或冷却到一定程度时作間歇性的停留，再在空气中冷却。

退火的目的是为了：①减低鋼的硬度；②使鋼的晶粒变細；③改善鋼的切削加工性能；④增高鋼的延展性和韌性；⑤消除因加工而产生的內应力；⑥改善鍛件或鑄件中产生的不均匀成份或不均匀的組織；⑦为以后的热处理做好准备。

鋼在退火时应该注意的是加热速度、退火温度、保温時間和冷却速度。现在分別叙述如下：

(1) 加热速度 依靠鋼中含碳量和合金元素的含量来确定加热速度，鋼中碳和合金的含量愈高，鋼的导热性就愈差，所以加热速度就要慢些。加热时应当尽量地使温度均匀。加热速度太快，就会使鋼的內外温度差别过大，这会使鋼的內外体积膨胀不同，在鋼中就会引起了很大的內应力，这个內应力会使鋼变形，严重的甚至会使鋼破裂。高碳鋼的加热速度一般是每厘米厚加热 8 分鐘；而合金鋼是每厘米厚加热 27 分鐘。

加热方法目前有兩種：一种是將鋼放到冷爐子中以一定速度加热，这种加热方法需要很長時間，最不經濟，一般很少采用；另一种方法是將鋼放进已經加热到一定温度的爐中加热，这一种方法的加热速度很快。根据苏联的先进經驗，应尽可能地进行快速加热，因此常采用后一种方法。用后种方法的优点很多，如縮短加热時間、提高生产率、节省燃料或电力、降低成本和减少氧化、脫碳及晶粒粗大等缺点。采用这种快速加热法，一定要注意上面所講到的加热速度的限制。

(2) 退火温度 退火温度是根据不同的退火种类而定的

(圖10)，它也與鋼中的碳、合金元素的含量有關，因為碳和合金元素的含量，會改變鋼的臨界溫度。含碳量在0.80%以下的鋼，大多數是加熱到 $A_1$ 以上30—50°C進行退火；而含碳量在0.80%以上的鋼，加熱到 $A_1$ 以上30—50°C時就進行退火。

### (3) 保溫時間

加熱到退火溫度以後，一定要停留一定時間，這是為了保證鋼的內外溫度均勻一致，並且使鋼的組織有時間完全轉變。保留時間是根據鋼尺寸的大小、原始組織和化學成份而決定。

鋼件愈厚、組織愈粗，那麼停留時間應當愈長。但保溫時間也不可過長，否則鋼件表面會發生過多的氧化和脫碳現象。

退火時鋼件的溫度愈高，保溫時間就應該愈短。

(4) 冷卻速度 冷卻速度也與鋼的成份和尺寸大小有關。對於含碳或合金元素高的或者很薄很小的鋼材，冷卻速度不能太快；對含碳及合金元素很低或很厚大的鋼材，冷卻速度可以稍快。含碳量0.3—0.5%的普通碳鋼可以是每小時100—200°C的冷卻速度；普通合金鋼冷卻速度為每小時50—60°C；

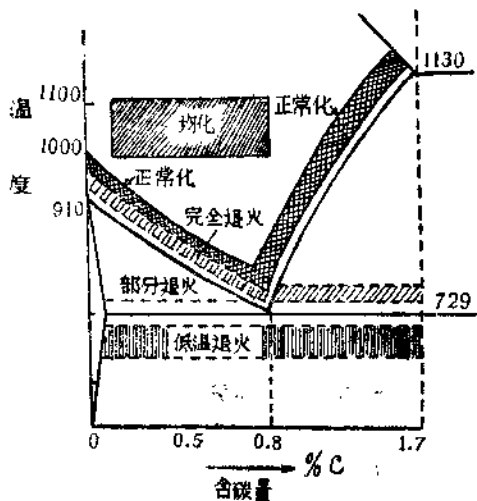


圖10 各種退火及正常化的溫度範圍。



而高合金鋼每小時應為 $20-40^{\circ}\text{C}$ 。在冷卻時，當通過 $A_1-A_3$ 溫度範圍時的冷卻速度加快，就可以得到細晶粒的鋼。

一般退火的冷卻方法有二種：一種是隨爐子冷卻到室溫再取出，這種冷卻速度很慢，可以得到最軟的組織，但產量少；另一種方法是在保溫完了後，就將鋼材取出立刻埋在沙中，這樣也可以得到相當慢的冷卻速度。

退火的方法有以幾種（幾種退火的溫度範圍如圖10所示的那樣）：

(1)完全退火 將鋼加熱到 $A_{c3}$ 以上 $20-30^{\circ}\text{C}$ 後停留一段時間，再把爐子冷卻或埋在沙中緩慢冷卻到 $400-500^{\circ}\text{C}$ ，然後將鋼由爐中或沙中取出，在空氣中冷卻。含碳量在 $0.80\%$ 以下的碳素鋼和低合金結構鋼，在出廠前都進行完全退火的热處理過程。這是為了要得到細的晶粒、均勻分布的鐵素體和片狀的珠光體組織；消除加工時（鍛或軋）產生的內應力、改善鋼的機械性能（韌性、強度等）和切削加工性能。

為了消除鋼鑄件（含 $0.1-0.5\%$ 碳）在凝固時所產生的內應力以及粗大晶粒、網狀組織（圖5）和魏氏組織（一種粗大的組織如圖11），應該在 $A_{c2}$ 以上 $30-50^{\circ}\text{C}$ 進行完全退火。但停留時間要比一般鋼長 $1.5-2.0$ 倍，加熱和冷卻速度也要慢些。

(2)球化退火 將鋼加熱到 $A_{c1}$ 以上 $20-30^{\circ}\text{C}$ ，約為 $740-760^{\circ}\text{C}$ ，停留 $5-6$ 小時，再緩冷下來（一般採用的冷卻速度是每小時 $20-60^{\circ}\text{C}$ ），冷到 $650-700^{\circ}\text{C}$ 以後，再在這個溫度下保持一段時間，就可將鋼取出在空氣中冷卻。經過這種退火方法之後，鋼內滲碳體就變成球狀（見二圖3）。碳素工具鋼、合金工具鋼、滾珠鋼及高速鋼（這些鋼的含碳都在