

出版者的話

祖國正在進行着大規模的經濟建設，大量的新工人將要不斷地參加到工業建設中來，同時現有的技術工人，由於在舊社會沒有學習的機會，經驗雖豐富，但理論水平較低。爲了使新工人能夠很快地掌握技術的基本知識，並使現有工人也能把實際經驗提高到理論上來，因此，我們出版了[機械工人活葉學習材料]。

這套活葉學習材料是以機器工廠裏的鑄、鍛、車、鉗、銑、鉋、熱處理、鉚、鉚等工種的工人爲對象的。每一小冊只講一個具體的題目，根據八級工資制各工種各級工人所應知應會的技術知識範圍，分成程度不同的[活葉]出版。

本書介紹了球墨鑄鐵熱處理的原理和熱處理的方法，包括退火、正火、淬火、回火等；此外，還介紹了熱處理前的準備工作，鑄鐵熱處理的特點和球墨鑄鐵熱處理的主要缺陷以及它的防止方法。

本書可供熱處理工人工作時參考。

編著者：郝石堅

書號 0972（工業技術）

1955年12月第一版 1955年12月第一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 字數 25 千字 印張 1³/₁₆ 0,001— 5,000 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號 定價(7) 0.16 元

機械工人活葉學習材料 260

郝石堅編著

球墨鑄鐵熱處理



機械工業出版社

目 次

一 球墨鑄鐵為什麼要經過熱處理.....	3
二 球墨鑄鐵熱處理的原理.....	5
三 退火.....	10
1 消除鑄件內應力的退火——2 消除白口的 高溫 石墨化退火——	
3 增加韌性的低溫石墨化退火——4 退火實例	
四 正火.....	17
五 淬火和回火.....	19
1 淬火——2 回火——3 等溫淬火——4 表面淬火——5 淬火實例	
六 熱處理前的準備工作.....	29
1 了解鑄件的技術要求——2 了解鑄件的鑄出狀態——3 選擇熱處理的方法	
七 鑄鐵熱處理的一些特點.....	31
八 球墨鑄鐵熱處理的主要缺陷和防止方法.....	34

一 球墨鑄鐵為什麼要經過熱處理

所謂熱處理就是這樣一種操作：把工件加熱到一定的溫度，再以一定的冷卻速度把它冷卻下來。工件經過熱處理以後，內部的組織都或多或少有了改變。隨着組織的變化，工件的各種性質也發生了變化。例如，鋼料加熱到一定溫度後很快地冷卻下來，就會變得硬得多。同樣地，用別種熱處理方法也能夠使工件的性質發生不同的轉變，而變得更適合我們的需要。

球墨鑄鐵工件鑄出來以後，常常需要加以熱處理，來改善它的各種性質，使它更結實、耐用。下面就來談談熱處理對於球墨鑄鐵工件的好處：

1. 球墨鑄鐵經過熱處理以後，性質要發生變化，或者變軟，或者變硬，或者變得更結實，或者變得更加強韌有力，這樣就會使鑄件更能滿足我們的要求。例如氣缸套筒，我們希望它耐磨，因此就可以把它淬火。淬火以後，套筒變硬了，抗磨能力增加了，就能夠多使用很長的時間。有些零件（例如農業機器和柴油機上的許多零件）應該有很好的衝擊韌性[●]，才能夠承受衝擊力的作用，我們就可以把鑄出來的這些零件做一次正火處理，使它變得更加強韌有力，更能抵抗突然加上的力量。利用熱處理的方法還可以使鑄件性質發生各種不同的轉變，這將在下面詳細談到。

2. 熱處理能夠減少或者消除鑄造上的一些缺陷。例如，鑄件上某些部分帶有白口，或者鑄件太硬、太脆，或者鑄件本身有很大的

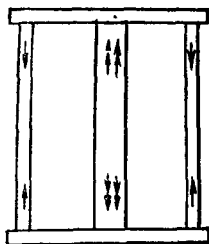
● 機件承受衝擊力（突加在機件上的力量）作用的能力叫做「衝擊韌性」。衝擊韌性好的材料能夠承受比較大的衝擊力而不至於斷裂。

內應力^①，這些缺陷都可以用熱處理的方法來減少或者消除掉。

3. 熱處理可以減少由於原材料不合規格而造成的一些缺陷。我們知道，製造球墨鑄鐵用的原材料要有一定的化學成分。如果原材料的化學成分不合規格，用它製造出來的鑄件，性能就會不合要求，甚至不能使用。例如採用含磷量較高的生鐵來製造球墨鑄鐵的時候，鑄件就會因為含磷量超過限度而變得很脆，沒有足夠的韌性，不合於使用上的要求。為了減少這種缺陷，我們可以把鑄件做一次增加韌性的退火處理。經過這樣的熱處理以後，鑄件的柔韌性質提高了一些，這就減輕了韌性不夠的缺點。

4. 熱處理可以使鑄件容易加工(切削)，容易鍛造。鑄件鑄出來後，大部分都要進行機械加工。如果鑄件材料太硬，加工起來就很困難，即使勉強加工，效率也很低，刀具磨損得很快，這是很不經濟的，這時候就可以用熱處理的方法來減低鑄件的硬度。也有些鑄件(主要是套筒、棒料)，由於一些特殊的原因，例如補救尺寸上的缺陷，需要進行鍛造或壓力加工，也可以用熱處理的方法來增加球墨鑄鐵的鍛造性能。經過一定熱處理之後的工件，即使在鍛造變形程度很大的時候也不會發生裂紋。

總起來說，球墨鑄鐵鑄件經過熱處理以後，不但性能可以得到改善，鑄造上的一些缺陷也能得到消除，而且還可以容易加工和



① 當機件受熱或冷卻，或者組織發生轉變的時候，由於各部分體積改變的程度不同或改變的先後不同，機件本身的一部分對於其他的部分就產生了力量。這種機件內部所受的力量叫做內應力。

像圖中所表示的鑄件，當它從高溫冷凝下來的時候，兩邊的圓柱，因為比較細，所以先凝固了，這時候中間的圓柱還沒有凝固。再過一些時候，中間圓柱開始凝固，它的長度就要縮短(熱脹冷縮)，但是兩旁的圓柱已經凝固，不允許它縮短，於是中間的圓柱就受到伸張的力量(力量的方向在圖裏用箭頭來表示)，而兩旁的圓柱就受到壓縮的力量，這種力量就是內應力。

鍛造。

但是我們也應該注意，並不是每個球墨鑄鐵工件都需要熱處理的。鑄件是不是需要熱處理，要根據鑄件的組織、成分、性能和它的使用要求來決定。不需要熱處理的工件，如果實行了熱處理，不但是一種浪費，還可能使它的性質變壞。這是我們應該注意的。

二 球墨鑄鐵熱處理的原理

要想掌握球墨鑄鐵熱處理的方法，我們先應該弄清楚球墨鑄鐵熱處理的原理。

我們知道，鋼經過熱處理後，它的性質是要發生改變的。這是因為它內部的組織發生了變化的緣故。同樣，球墨鑄鐵經過熱處理以後，它的性質也隨着組織的變化而發生了變化，但是變化不像鋼那樣顯著。這是為什麼呢？



圖1 鑄鐵的組織。

我們知道，鋼和鑄鐵（包括球墨鑄鐵）在組織上的最大的不同，就是鑄鐵裏面有許多石墨（圖1），而鋼裏面沒有這種東西。石墨是由很多碳的質點聚成的。這些質點相互之間的聯系很微弱。石墨絲毫沒有強度，硬度也很低。鑄鐵裏有了它，就像有了很多小洞一樣，基體[●]的結實程度就降低了。石墨的數量越多，它的尺寸越大，形狀

越不規矩，對於基體的破壞性就越嚴重，因而鑄鐵的性能就越壞。

一般的熱處理方法只能改變金屬的基體組織，很難顯著地減少石墨對於鑄件性能的破壞作用。鋼件熱處理後全部組織都發生了改變，所以熱處理對鋼就更有效一些。

● 鑄鐵是由石墨和基體兩部分組成的。鑄鐵裏除了石墨以外的部分叫做基體。

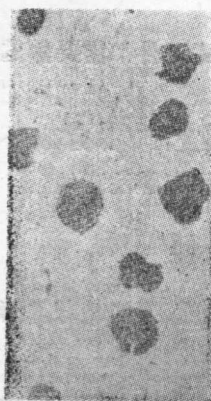


圖 2 球墨鑄鐵的組織。

球墨鑄鐵裏的石墨是球形的(圖 2)。這些球形石墨比起普通鑄鐵裏的片狀石墨來,對基體強度的破壞要輕得多。所以球墨鑄鐵的性能主要是由它的基體組織的性質來決定的,而石墨的影響只佔着次要的地位。這樣說來,熱處理對於球墨鑄鐵來說,就是很有用處的了。

球墨鑄鐵的基體組織,由於鑄件化學成分的不同、冷卻快慢的不同等許多條件,形成了各種類型。因為熱處理工作是根據基體組織的類型來進行的,所以我們應該知道這些基體類型和它們的性質。

一般來說,球墨鑄鐵的基體組織可以分成以下六種類型(見圖 3):

第一種類型:基體中含有 80% 以上的純鐵體^①,而其餘的部分是珠光體^②。具有這種基體組織的球墨鑄鐵,最軟,強度也比較低,但是韌性好,可以抵抗衝擊力的作用。在碳、矽含量高而錳、磷含量較低的厚大鑄件的斷面裏,常常出現這種組織。

第二種類型:基體中含有 20~50% 的珠光體組織,其餘的部分是純鐵體。從圖 3 中可以看出,圍繞在球狀石墨周圍的白色部分

① 純鐵體是鋼和鑄鐵裏的一種很軟的組織。把鋼鐵試片磨光,用硝酸酒精浸蝕以後,放在顯微鏡下看,這種組織是白色的(圖 3)。它只有中等的強度(抗拉強度 25 公斤/公厘²),硬度是布氏 80;它有很好的韌性,延伸率是 50%。

② 珠光體是純鐵體和滲碳體的層狀組織(參看後面關於滲碳體的註釋);也就是說,滲碳體和純鐵體一層一層地交錯排列着,組成了珠光體組織。它性質堅強(抗拉強度 84.5 公斤/公厘²),硬度合適(布氏 200~225),韌性也很好,對一般機件來說,這種組織是最合適的。

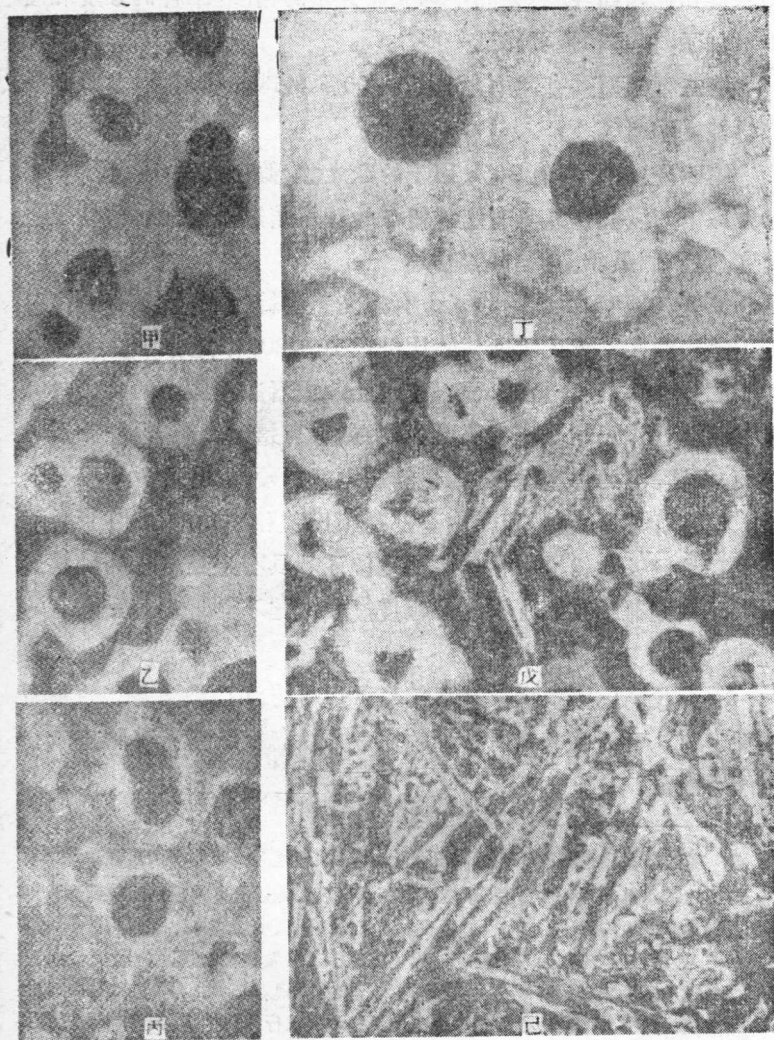


圖 3 球墨鑄鐵基體的六種類型。

就是純鐵體組織。隨着基體中珠光體含量的增多，工件的強度和硬度增加了，但是韌性要降低一些。

第三種類型：基體中含有 50~90% 的珠光體組織，其餘部分都是純鐵體組織。

第四種類型：含有 90% 以上的珠光體，餘下的一小部分（只有 10% 以下）是純鐵體。具有這種組織的球墨鑄鐵，強度最好，軟硬也適宜，是我們最希望得到的組織。

第五種類型：基體中除了含有珠光體和純鐵體組織以外，還有萊氏體組織^①。萊氏體所佔的比例在 10~20%，它散佈在基體各個部分。碳、矽含量較低而含錳量高，或者處理鐵水的時候加鎂量多而孕育作用^②又不完全，鑄件中就會有這種組織出現。萊氏體很硬，很脆，它的含量越多，球墨鑄鐵也就越硬，越脆。

第六種類型：基體組織中全部是萊氏體和珠光體，而且萊氏體已經在整個基體組織中佔居主要地位了。具有這種組織的球墨鑄鐵，硬到很難加工而且很脆的程度，根本達不到球墨鑄鐵應有的性能。

前面我們已經談過，球墨鑄鐵熱處理方法是根據基體的類型來決定的。下面就來看看各種熱處理方法怎樣改變着基體組織和鑄件的性質。

① 萊氏體是滲碳體和珠光體的混合物，是鑄鐵基體裏很硬的一種組織。

② 在鐵水裏加入一些矽鐵、矽鈣等東西，可以促使鑄鐵裏的碳從滲碳體裏分離出來而形成石墨（滲碳體的含量減少了）。加入這些東西的操作過程叫做孕育處理。矽鐵、矽鈣等東西可以促使石墨生成的作用叫做孕育作用。

製造球墨鑄鐵的時候，要在鐵水裏進行兩次處理。把鎂加到鐵水裏叫做球化處理，然後再把矽鐵或矽鈣等東西加進鐵水裏進行孕育處理。鎂促使滲碳體生成，所以加鎂量過多，鑄件裏就會有滲碳體出現。矽鐵、矽鈣會促使石墨生成，如果加入量太少了，鑄件裏也會有滲碳體出現。

以上所談的六種類型的基體，實際上是由三種基本組織（純鐵體、珠光體、滲碳體^①）組成的。不過它們的含量是不同的。按它們含量的多少，球墨鑄鐵基體分成了六種類型。這些組織在加熱到一定溫度的時候，就會發生變化。如果把加熱到一定溫度的工件，用不同的冷卻速度冷卻下來，就會形成各種不同的新組織，而使鑄件性質發生各種轉變。下面舉幾個例子來看看熱處理時候基體組織變化的情況。

1. 含有第五種和第六種類型基體組織的鑄件，性質很硬，特別是第六種類型基體組織，硬得幾乎不能加工，脆得輕輕敲打就會折斷。如果把這種鑄件加熱到 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，並使它在這個溫度保持一定時間，這時候，基體組織裏的滲碳體（包含在萊氏體裏面）就慢慢地分解^②，以至全部消除。保溫完了以後，鑄件緩慢冷卻下來，鑄件的基體裏面就幾乎沒有滲碳體組織了。基體變成由珠光體和一部分純鐵體組成，鑄件的白口消除了，性質變軟，韌性增加。這就是消除白口的高溫石墨化退火。

2. 含有第四種類型基體組織的球墨鑄鐵，軟硬合適，強度也最高，但是它的韌性比具有第一、二種類型基體組織的球墨鑄鐵差，這是因為純鐵體組織韌性最好的緣故。但是如果我們把鑄件加熱到 $650\sim 750^{\circ}\text{C}$ 並在這個溫度下保持 $3\sim 5$ 小時，這時候，珠光體漸漸消失了，珠光體裏所包含的滲碳體漸漸分解成為純鐵體。鑄件完全冷卻下來以後，基體就變成了第一種類型那樣。這就是增加韌性

① 滲碳體也叫做碳化鐵，是一種很硬、很脆的組織。它的硬度是布氏800，延伸率是0%。鑄件的白口部分裏面有很多這種組織。

② 滲碳體是鐵和碳兩種元素化合成的東西。機件加熱到一定溫度的時候，這種組織裏面的碳會逐漸地分離出來，滲碳體就變質了，這種現象叫做滲碳體的分解。

滲碳體組織分解的時候，體積也跟着發生轉變。

的低溫石墨化退火。

3. 含有第五種類型基體組織的球墨鑄鐵，加熱到 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ 左右，並且在這個溫度保持 $1\sim 3$ 小時，然後從爐子裏取出來，放在空氣裏冷卻到室內溫度 (20°C 左右)，包含有萊氏體組織裏的滲碳體組織就分解了。基體變成由非常細緻的珠光體（也有人叫它做 [索氏式珠光體]）和少量純鐵體組成的組織。鑄件的強度和韌性都大大地增加了。這就是正火處理。

4. 含有第四種類型基體組織的球墨鑄鐵，如果把它加熱到 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，隨後很快地冷卻下來（例如把紅熱的鑄件放到 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的油裏），這時候，基體組織發生了一種比較特殊的變化，基體裏出現了 [馬丁體] 組織。鑄件的硬度大大增加，變得非常堅硬、耐磨。這就是淬火。

5. 淬火以後的鑄件，硬度雖然增加得很多，但是它的韌性並不好，而且淬火後的基體組織是不穩定的，還會發生變化，以致引起鑄件的變形。爲了消除這些缺點，我們可以把淬火以後的鑄件再加熱到 $200\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，保持一定的時間，然後在空氣裏冷卻下來。經過這樣的處理以後，鑄件的強度和硬度稍稍降低，但是它的韌性卻會增加很多。這叫做回火。

以上談的，是球墨鑄鐵熱處理幾種基本方法的簡單原理。

三 退 火

退火是很常用的一種球墨鑄鐵熱處理方法。根據操作的方法和目的不同，它可以分成三種：1) 消除鑄件內應力的退火；2) 去除白口的高溫石墨化退火；3) 增加韌性的低溫石墨化退火。

● 馬丁體是鋼鐵裏的一種很硬的組織。鋼鐵機件經過淬火以後，或者材料裏的某些合金元素（例如鎢、鉻）的含量達到一定限度的時候，都會有這種組織出現。

1 消除鑄件內應力的退火 鑄件鑄出來以後，內部都會或多或少地有一些內應力。這些內應力對於鑄件是有害的。如果它比材料所能承受的力量還大，鑄件就會斷裂或者發生變形。尺寸要求很精密的鑄件，一定要經過消除內應力的處理以後才能應用。去除內應力的處理方法有兩種：一種是「天然時效處理」，就是把鑄件放在露天的地方，任憑風吹雨打，經過 6~18 個月。這樣內應力可以逐漸減少，但是不能完全消除（只能減少 50% 左右）。另一種方法是「人工時效處理」，就是利用退火的方法來使鑄件的內應力消除。用這種方法可以使內應力消除 95% 以上。前一種方法因為需要的時間太長，內應力去除得也不徹底，所以現在應用得很少了。後一種方法是目前各工廠中比較常用的。下面談談這種退火方法的具體操作過程。

一、加熱——鑄件的加熱可以在電爐、油爐或者反射爐中進行。最好是使用電爐，因為用它可以把鑄件均勻地加熱，而且調節溫度和加熱速度也很方便。加熱速度要根據鑄件的複雜程度（鑄件厚薄部分尺寸相差的程度）來決定。一般是每小時 $75\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。厚薄相差較大的鑄件應該比較緩慢地加熱，這是因為：如果加熱太快，會使鑄件產生新的內應力。厚薄比較均勻的鑄件可以比較快地加熱。

工件可以在爐溫是 $200\sim 230^{\circ}\text{C}$ 的時候裝進爐子，一直加熱到退火溫度的時候開始保溫。

二、保溫——鑄件加熱到一個指定的溫度以後，要在這個溫度停留一些時候，就是使鑄件有個「保溫」的過程。

保溫的作用是：使鑄件厚度不同的各部分的表面和內心都能達到相同的溫度。保溫後，把鑄件以很慢的速度冷卻下來，這樣就能使內應力消除。

鑄件加熱到多高的溫度和在這個溫度保溫幾個小時才能很好地消除掉內應力呢？這是個很重要的問題。

消除鑄件內應力的退火溫度是 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。當鑄件加熱到 450°C 的時候，內應力已經開始減少。溫度再增高，內應力就消除得更多，一直到 600°C 的時候，如果加熱速度和保溫時間合適的話，內應力大部分就消除掉了。退火溫度超過 600°C ，鑄件基體裏的滲碳體顯著地分解了，這會降低鑄件的強度和硬度。

保溫時間同鑄件的厚度和退火的溫度有關係。鑄件厚，退火的溫度比較低，保溫的時間就需要長一些。一般是這樣規定的：在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 退火的時候，10 公厘厚的鑄件需要保溫 1 小時。鑄件厚度增加，保溫時間應該按比例增加。例如，50 公厘厚的鑄件就需要保溫 5 小時。

三、冷卻——鑄件保溫完了以後，就開始在爐內冷卻。冷卻速度必須很慢，一般是每小時 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。冷卻得太快了，會有新的內應力出現。

工件在爐裏冷卻到 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，就可以取出來放在空氣裏冷卻了。

2 消除白口的高溫石墨化退火 前面已經談過，這種退火的目的是消除鑄件裏的滲碳體組織，爲的是減少鑄件的脆性，降低它的硬度，使它可以被機械加工。下面談談這種退火的操作過程：

一、鑄件的加熱——爲了使鑄件在加熱的時候不會產生新的內應力，鑄件應該比較緩慢地加熱到 600°C 左右。加熱的速度是每小時 $75\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。形狀複雜和容易變形的鑄件，應該更緩慢地加熱。加熱到 600°C 以後，鑄件的加熱速度可以增加到每小時 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。

鑄件在爐溫是 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 的時候裝爐。鑄件中比較厚大的支

點部分應該支托起來(圖4)。爲了減少鑄件的脫碳掉皮,減低鑄件的冷卻速度,應該把鑄件放到退火箱裏,在它的周圍包滿石灰和鑄鐵末子,再把退火箱放到爐裏去加熱。如果鑄件的厚薄很不均勻,薄的地方白口現象要嚴重一些,退火的時候,應該在這些地方放上一些鐵礦石末子(圖5)。因爲有白口的地方,在高溫度下膨脹得特別厲害(灰口部分膨脹得很少),容易因爲膨脹不平均而使鑄件發生變形。如果有了鐵礦石末子,就會使白口部分發生局部脫碳現象,減少了膨脹。

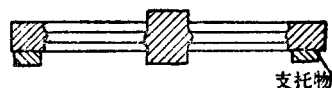


圖4 把鑄件的厚大部分支托起來。

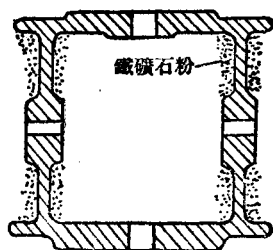


圖5 在鑄件薄的地方放些鐵礦石末子。

二、退火溫度——消除鑄件白口的退火的溫度是 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。退火的溫度越高,滲碳體組織就分解得越快,白口現象也就越容易消除。但是退火溫度增加,容易使鑄件的機械性能降低,發生較大的變形,表面掉皮的現象也比較嚴重,所以退火溫度要根據具體情況來決定。

三、保溫時間——保溫時間一般是 $1\sim 3$ 小時。退火溫度低或者鑄件的白口深度大,滲碳體組織成分多的時候,保溫時間應該增加。一般是這樣規定的:在 900°C 退火的時候,15公厘厚的鑄件需要保溫 $1\sim 2$ 小時。

保溫時間同退火溫度是有密切關係的。圖6表明了它們之間的關係。這個圖中的曲線,是用含碳3.2%、含矽2.5%、含錳0.7%的球墨鑄鐵試棒(鑄成直徑16公厘的圓棒,它的組織像圖3的第

五種類型那樣，石墨被純鐵體包圍着，純鐵體外面是珠光體和萊氏體)試驗出來的。曲線 1、2、3 分別表示鑄件加熱到 950°C 、 900°C 、 850°C 以後，保溫時間同滲碳體分解程度的關係。在這個圖上，沿水平方向從左向右表示保溫時間的增加，沿豎直方向從下向上表示

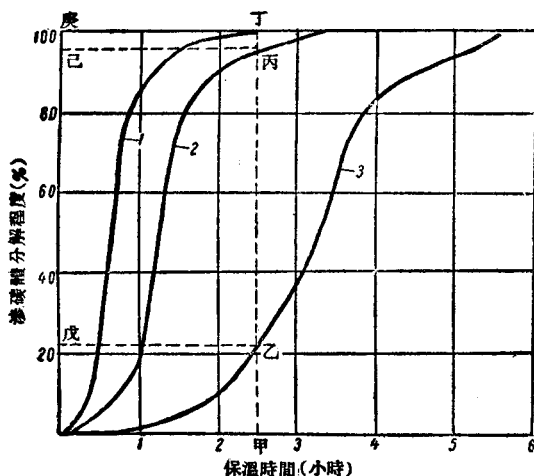


圖 6 退火溫度、保溫時間和滲碳體分解程度的關係。

滲碳體分解程度(用百分數表示)的增加。例如：在水平軸上找一點甲(保溫時間是 2.5 小時)，由這點向上畫一條直線，同曲線 3、2、1 分別相交在乙、丙、丁三點，再由乙、丙、丁三點向左畫水平線，同代表滲碳體分解程度的軸線相交在戊、己、庚三點，戊點代表滲碳體分解了 23%，己點代表滲碳體分解了 95%，庚點代表滲碳體分解了 100% (全部分解了)。這說明，鑄件保溫 2.5 小時以後，在 950°C 退火的試棒裏的滲碳體全部分解了，在 900°C 退火的分解了 95%，而在 850°C 退火的只分解了 23%。從這個曲線圖上我們可以看出：1) 退火溫度越高，需要的保溫的時間越短；2) 滲碳體在保溫

開始和末了分解得比較慢，而在其餘的時間分解得比較快。

這個曲線圖說明了退火溫度和保溫時間的基本關係。我們可以根據這個關係來考慮退火溫度和需要的保溫時間。

四、冷卻——保溫完了以後，鑄件必須很慢地冷卻下來，一般都是在爐裏冷卻的。緩慢冷卻的目的，是保證滲碳體充分分解和避免產生新的內應力。冷卻速度是每分鐘 $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ （每小時 $60\sim 180^{\circ}\text{C}$ ）。當溫度降低到 $600\sim 400^{\circ}\text{C}$ 的時候，冷卻速度還要降低，每小時只能冷卻 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。到鑄件冷卻到 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的時候，要把它從爐子裏取出來，放在空氣裏冷到室溫。

3 增加韌性的低溫石墨化退火 這種退火的目的是：使珠光體組織裏的滲碳體（也叫做共析滲碳體）分解，基體中純鐵體組織的含量增加，使鑄件的硬度減低，韌性增加。含有第三、四種類型基體的球墨鑄鐵，可以用這種方法退火。退火以後，鑄件的基體組織變成像第一、二種類型那樣。

退火溫度是 $650\sim 750^{\circ}\text{C}$ 。退火溫度、保溫時間和共析滲碳體分解程度的關係同前面高溫石墨化退火的情形一樣，也是退火溫度高，需要的保溫時間少，滲碳體就分解得快，退火溫度低，保溫時間多，滲碳體就分解得慢。

加熱速度同高溫石墨化退火的加熱速度一樣。鑄件加熱到退火溫度以後就開始保溫。保溫時間也是根據退火溫度、基體組織和鑄件厚度來決定的。一般是：在 650°C 退火的時候， $15\sim 20$ 公厘厚的鑄件保溫 8 小時；在 700°C 退火的時候，保溫 $3\sim 5$ 小時；在 750°C 退火的時候，保溫 $1\sim 3$ 小時。鑄件的厚度增加，保溫時間也應該適當地增加。應該注意，錳是一種阻止共析碳化鐵分解的元素。如果鑄件的含錳量很高，保溫時間就需要增加。例如含錳量超過 0.7% 的鑄件，保溫時間應該增加 $1\sim 2$ 小時。

冷却速度同高溫石墨化退火的冷却速度相同。

4 退火實例 上面已經把三種主要的退火方法介紹過了。下面舉出幾個鑄件的退火實例，這些實際例子可以幫助我們理解怎樣決定各種退火處理的操作規範。

一、消除內應力退火的實例——這裏介紹一種活塞環消除內應力退火的規範。一般的活塞環在粗加工以後都應該進行一次消除內應力的退火(也叫做[定形熱處理])，爲的是使活塞環在製成以後的長時期內不會發生變形，而能保持它的精確尺寸。消除內應力處理也增加了它的強度和彈性，大大延長了它的使用性能。

工件的尺寸是：直徑——100 公厘，厚度——10 公厘(指粗加工後的尺寸)。工件的材料是球墨鑄鐵。用下列的方式進行消除內應力的處理：工件在 200°C 裝進井式電爐裏，以每小時 60°C 的速度緩慢地加熱到 500°C ，並在這個溫度保溫 1 小時。然後讓工件在爐裏冷却到 400°C ，再在這個溫度保溫 1 小時以後，在爐裏冷却到 200°C 取出。

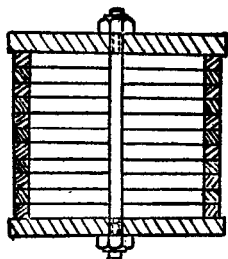


圖 7 把要退火的活塞環裝在特殊的夾具裏。

活塞環是裝在特殊夾具裏的(圖 7)。活塞環藉兩端鐵板的壓力壓緊，使它保持平整。

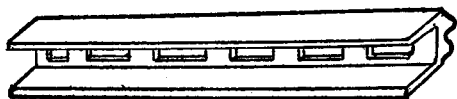


圖 8 鑄件之一。

二、消除白口的高溫石墨化退火的實例——圖 8 中所示的鑄件，長 2000 公厘，寬 200 公厘，厚 15~30 公厘。鑄出以後，發現在鑄件兩端和邊緣上有較深的白口，加工困難，所以把它進行一次消除白口的高溫石墨化處理。