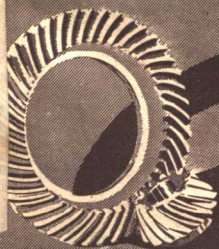


机电工业生产技术基本知识丛书

热处理常识

裘 汲 編 著

14



科学技術出版社

內 容 提 要

本書是上海市机电工业局，为了帮助机电工厂领导干部掌握管理技术而組織的講座的講稿。由上海市机电工业局和第一机械工业部第二設計院科普工作組共同編写。

这套講稿敘述比較精練，对生产中要掌握的基本知識都有交待，并介紹目前世界水平及今后发展方向。

这套書共有下列几种：

- | | |
|----------------|-----------|
| 1. 金屬材料 | 8. 动力机械常識 |
| 2. 鑄造生产 | 9. 电机常識 |
| 3. 热处理常識 | 10. 电器材料 |
| 4. 鍛工与冲压 | 11. 无綫电常識 |
| 5. 金屬切削机床常識 | 12. 仪表和仪器 |
| 6. 金屬切削与刀具 | 13. 医疗器材 |
| 7. 表面光洁度、公差和量具 | |

热 处 理 常 識

著 者 裘 汲

*

科学技術出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可証出079号

上海市印刷五厂印刷 新华書店上海发行所

*

开本787×1092 1/32·印张9/16·字数10,000

1958年6月第1版

1958年8月第2次印刷·印数3,001—18,000

統一書号：15119·671

定 价：(7)0.08元

77
67

目 录

前 言

鋼在加热和冷却过程中的轉变..... 4

鋼的热处理..... 9

結 語.....17

前 言

上古时代，人类只知道利用自然界出产的树木、石块等东西，来制造生产和生活的用具。他们把石块绑在木棒上当锛子或斧头使用，用木材来制造傢具等等。这个时期，称为“石器时代”。

人类最初开始利用的金属是一些天然形态的铜和金，后来他们将铜与锡熔合成比较坚硬的青铜。这样，就由用石器而逐渐演进到用青铜来制造各种生产和生活用具了。这个时期，我们称为“青铜器时代”。

过后，人类发现了铁矿，知道了炼铁技术，后来又学会了炼钢。那时候，人们除了用钢铁来制造生活和生产用具外，还用来制造兵器。

在我国，人们流传着许多关于制造宝剑的故事。我们的祖先早在几千年以前就会炼剑。春秋战国时代，就已经能够炼钢并且知道运用锻造以及改变钢铁性能的方法。历史上记载着当时有一个有名的工匠，曾制造出两把有名的宝剑，即“干将”和“莫邪”，这两把宝剑，锋利无比。宝剑能够锋利无比，除了要有良好质量的钢材外，还要有能够运用改变钢的性能的方法。在汉书上也记载着炼制刀剑的方法，有“清水淬其锋”的操作方法，并且还说明“淬谓烧而水以坚之也”，就是说将刀剑烧热以后，然后淬入水中，就能够使刀剑坚强锋利。此外，在明朝的时候，有一个名叫宋应星的人，他著了一本名叫“天工

开物”的書，里面也叙述了不少关于处理鋼鉄的方法。

按照以上的記載，說明將鋼材加热并用水冷却的方法，能够使鋼的性質变得坚硬、得到鋒利的刀劍。这种改变鋼鉄性能的方法，在現代工业中，也被广泛的运用着。运用在鋼鉄方面的，称为鋼鉄的热处理。

这些事实，說明我們的先輩劳动者，在几千年以前已經知道运用热处理的方法，而且也有了卓越的成就。但是他們仅仅是掌握热处理的手艺，沒有能够知道在什么样的条件下会有这种特殊的变化。因此，这种手艺一直停留在一定的阶段。

在現代，科学日新月异，各方面对鋼鉄方面显示出有特殊的要求，在机器制造业，造船业，农具制造业以及在各項輕、重工业方面，热处理的作用占据着极重要的地位。要增加机器的寿命、減輕机器的重量、節約金屬材料和金屬的消耗，都和运用热处理的方法有重大的关系。

在偉大的中国共产党的领导下，我国已超額地完成了第一个五年計劃。在机器制造业的各个工厂的热处理車間，已經有了新型的設備和新的技术。例如，長春第一汽車厂的热处理車間中的設備和技术水平，都是可以称为第一流的。此外，我国各高等学校，都設立了金相热处理專業，以培养为热处理這門科学而服务的人才。我們也建設了專門制造热处理設備的工厂。这些措施，对我国工业上为热处理這門科学的发展和予期的成就，有了可靠的保証。

鋼在加熱和冷卻過程中的轉變

在日常生活中，大家都知道天氣冷到零度以下的溫度時，水就凝結成冰；將水加熱到 100°C 以上的溫度時，就化為蒸汽；但是在平常的氣溫中，水就保持原有的液體狀態。凡物質都有這種三態的變化，象水的變化可以用肉眼觀察得到，稱為形態的變化。鋼也有三態的變化。不過鋼還有一個特性，就是在固體狀態的時候，予以加熱，它內部的結構組織因加熱的溫度不同，也會發生轉變，不過這種變化肉眼是看不到的，必須要用儀表和金屬顯微鏡的幫助。科學家們就利用儀器、金屬顯微鏡和X光，來研究鋼在固體狀態時加熱的過程中因溫度不同而產生的各種組織轉變和它們的特性。

現在，各方面對鋼的需要很多，要求也不同，因而鋼的牌號也很多，它們的化學成份也各不相同。因此，在不同溫度中所發生的組織轉變和性能，也都因鋼的牌號不同而異。

一、鋼在加熱過程中的轉變

以含碳量0.45%的碳素結構鋼為例（這種鋼一般稱45鋼），它在室溫中的機械性能如下：

抗張力	60~70公斤/公厘
降伏點	35~45公斤/公厘
延伸率	18~20%
斷面收縮率	45~50%
布氏硬度	~220

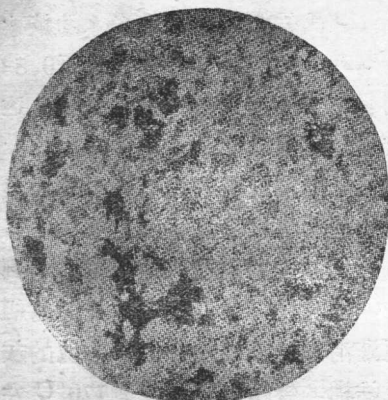


图1a. 45 鋼的金相組織图

將这种鋼用金相显微镜来观察，就会看到鋼的結晶是黑白相間的片狀組織，其間还杂有白色塊狀的組成（图1a）。这种黑白相間組織中白色的是純鐵（虽然称为純鐵，但是也含有微量的碳素）。純鐵的性質軟而韌，在金相学上称为鐵素体。黑色的是碳化鐵，碳化鐵性質极硬，可是很脆，金相学上称为滲碳体。这种滲碳体在鐵碳合金中，必定会使合金的强度和硬度增加，但是韌性則降低。这种一片鐵素体、一片滲碳体的混合組織，在各种含碳量不同的鋼中經常出現。因为这种組織在显微镜下看起来象珠母一样，所以在金相学中称为珠光体（图1b）。在图1中白亮色的塊狀組織也是鐵素体。

鋼中的珠光体組織的数量，与含碳量有一定的关系。对碳素鋼來說，含碳量达到0.83%的时候，鋼的組織結構全部是珠光体。含碳量低于0.83%的碳素鋼，它的組織是珠光体和鐵素体；含碳量高于0.83%的高碳素鋼，它的組織則为珠光



图1b 珠光体的金相图

体和渗碳体。在金属学上，对全部的结构组织是珠光体的钢称为共析钢（即含碳量0.83%的钢称为共析钢），含碳量低于0.83%的钢称为亚共析钢，超过此含碳量的钢则称为过共析钢。这些都是含碳量不同的碳素钢在室温时的结构组织情况。

如果将钢放在加热炉中加热，则钢内部的结构组织会因温度增加而引起转变，同时它的物理和机械性能也因而不同。以

45钢为例，当将钢放入炉中加热到723°C的时候，就会发现珠光体的组织逐渐消失，形成一种近乎方块的灰白色结构。继续增加温度到770°C左右，钢中另一种铁素体就被熔入新形成的结构组织中，这种新形成的组织，金相学上称为奥氏体(图2)。继续增加温度、在熔化之前钢的结构组织就一直是奥氏体。钢在室温时是有磁性的，加热后磁性就逐渐消失。钢在

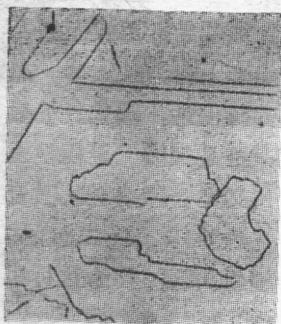


图2. 奥氏体金相组织图

加热过程中的组织转变，可以归纳如下表：

钢的分类	室温时的组织	加热到723°C时的组织	加热到熔化温度以前时的组织
亚共析钢	珠光体 + 铁素体	奥氏体 + 铁素体	奥氏体
共析钢	珠光体	奥氏体	奥氏体
过共析钢	珠光体 + 渗碳体	奥氏体 + 渗碳体	奥氏体

一般称珠光体开始转变为奥氏体的温度为低临界温度，通常以 A_1 表示，全部转变为奥氏体的温度为高临界温度，亚共析钢的高临界温度以 A_{cm} 表示，过共析钢的高临界温度则以 A_{cm}

表示；消失磁性时的温度点以 A_2 表示(A_2 点也称为居里点)。

二、鋼在冷却过程中的轉变

前节講到鋼經過加热以后，它的組織最后轉变为奥氏体（在溶化之前）。可是將奥氏体組織的鋼再冷却下来，它的轉变情况是怎样的呢？这要看鋼冷却下来的速度如何，如果冷却的速度很緩慢，已經加热到奥氏体組織的鋼，仍旧会按照原有的情况轉变。仍以45鋼为例，它轉变的次序是按温度的高低从奥氏体——奥氏体和鉄素体——珠光体和鉄素体（室温时的組織）。

如果將加热到奥氏体組織的鋼，用很快的冷却速度冷却，例如浸入冷水中，則所得到的結構組織与緩慢冷却的情况完全不同，性能也两样。45鋼从奥氏体緩慢冷却所得到的室温組織是珠光体和鉄素体，可是快速冷却結果的組織从显微鏡下看起来是一种針狀的組織。这种組織极硬，可以达到560~650布氏硬度单位，抗張力也会提高到3倍左右，延伸率則降低，說明这种組織的性能是硬而脆。金相学上称这种組織为馬氏体（图3）。使鋼快速冷却的介质（例如冷水），称为冷却剂。

由于冷却剂冷却能力不同，奥氏体状态的鋼冷却后所得到的結果也会两样。例如將奥氏体状态的45

鋼不浸入冷水中而浸入具有温度的介质中冷却，則所得到的結



图3. 馬氏体金相組織图

構組織并不是馬氏體，而又是另外的一種組織。這種組織的硬度比馬氏體要低一些，可是韌性則提高了，這種組織金相學上稱為托氏體。同樣的情況，如果將冷卻介質的溫度提高，則奧氏體狀態的鋼冷卻後的組織另稱為索氏體。繼續提高冷卻介質的溫度，例如 600°C ，則冷卻所得的結果又是珠光體了。今將奧氏體狀態的鋼放在不同溫度的冷卻介質中（或在不同冷卻能力的冷卻劑中）冷卻後所獲得的各種結構組織的機械性能，列表如下：

組織名稱	布氏硬度	抗張力(公斤/公厘 ²)	延伸率%
馬氏體	500~650	175~210	2~8
托氏體	400~500	140~175	5~10
索氏體	250~400	70~140	10~20
珠光體	200~250	~80	20~25

這裡尚須說明的，鋼經過加熱到奧氏體狀態以後，才能在不同冷卻能力的冷卻劑內獲得各種性能的組織，如果加熱的溫度沒有使鋼轉變到奧氏體的狀態，即沒有到達高臨介點以上的溫度，則鋼的組織不能轉變或轉變得不完全。

鋼的熱處理

鋼件經過不同溫度的加熱和不同冷卻速度冷卻以後，就轉變為不同性質的結構組織。我們就可以利用鋼的這種特性，運用加熱和冷卻的方法，來達到我們所需要的目的。這種加熱和冷卻的方法，即是鋼的熱處理方法。

由於我們對鋼所要求的目的不同，也有不同的熱處理方法。例如自行車車輪上的心軸，縫紉機上的心子，它們在很快的速度中轉動和上下滑動，為了經久耐用，就要求這些另件的表面耐磨。機床上的切削工具，切菜用刀，剃刀以及割草用的鐮刀，就要求刀口鋒利，也即是要刀口很硬。其他如機器上的許多齒輪、轉軸、花梢軸、螺絲釘以及很多不同的另件，有的表面要求耐磨，有的則表面要硬而中心部分要求有韌性，有的則要提高鋼的強度和硬度等等。對於這些要求，都可以運用熱處理的方法來達到。

下面敘述的是各種熱處理工序的目的和操作過程。

一、鋼的退火和正火

鍛件或熱軋鋼經過在很高的溫度中加熱以後，鋼內部的結晶變得很粗大，同時在鍛壓過程中，鍛件各部分所受壓力並不一致，冷卻也不均勻，因而鍛件內部的結晶組織是不均勻的。這樣使另件的強度下降，內部產生了內應力，在運用時也會產生形變。另外，含碳量較高的過共析鋼和合金鋼，鍛造或熱軋

后硬度增加，影响机械加工。这许多毛病，都要运用退火或正火的方法来消除它。退火的目的是：

- (1)降低鋼的硬度；
- (2)使鋼的結晶变細；
- (3)改善鋼的切削加工的性能；
- (4)提高鋼的延性和韌性；
- (5)改善鍛件或熱軋鋼中所產生的不均勻組織；
- (6)消除內应力；
- (7)为下一步熱处理工作做好准备。

退火的操作过程，一般是將鋼放在炉中加热到高临界点 (A_3) 以上的温度，保温以后就緩慢地冷下来。根据要求的不同，退火的方法还可以分为：完全退火、等温退火、球化退火等方法。

正火实际上是退火的另一种形态，不过正火是將鋼放在炉中加热到高临界点 (A_3) 以上的温度并保温以后，直接放在空气中冷却，也就是說正火的鋼要比退火时冷得快一些。正火的方法多用于处理含碳量較低的亞共析鋼，而且价錢便宜。

二、鋼的淬火

淬火就是將鋼件放在炉中加热到高临界点以上的温度 (A_3 以上 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}$)，保温一定時間以后，使鋼內部的組織全部轉变为奧氏体。根据鋼的牌号，取出急速冷却在水中或油中（或其他的冷却介質內），这个方法即为淬火。

淬火的目的是比較單純，主要就是為了得到馬氏体組織，因为馬氏体再經回火处理以后，可以获得好的强度和韌性。对工

具鋼來說，淬火是為了要獲得最高的硬度，以保證高速切削性能和耐磨性。

鋼中含碳量愈高，淬火後的硬度也愈高，而韌性也降得愈低。由於鋼經過淬火以後，大多數變得很脆，必須再加熱，使它的韌性增加，達到兼有高的強度和大的韌性的優良性能，所以它常和回火配合使用。在機械製造廠里，淬火的方法應用很廣，並且是特別重要的操作。

為了要保證淬火後鋼件的質量，必須要嚴格注意淬火的溫度和加熱均勻，冷卻介質的選擇等。

三、鋼的表面淬火

機器上有許多零件，如車子上的輪軸、發動機上的曲軸、齒輪的牙齒部分，它們既要耐磨，又要吃得起力量，同時還要經得起震動和受外力的衝擊，這就是說它們的表面要很硬耐磨，而中心部分則要有足夠的韌性。增加鋼件表面硬化的方法可以分為兩大類：一種是化學熱處理的方法，這種方法多適用於體積不大、形狀較為複雜的機器零件；另一種就是表面淬火法，這種方法是一種較為簡單而且經濟的熱處理方法。

表面淬火法常用的方法有兩種，利用火焰或高頻率感應電熱把鋼件的表面層很快地加熱到淬火溫度，緊跟着用水或其他冷卻介質使它急速地冷卻下來（不可用油），就使得只有表面層受到淬火的作用，硬度增加。

1. 火焰表面淬火 火焰表面淬火法，是利用氧與乙炔的混合氣體。用噴咀燃燒發出火焰的溫度可以達到 3000°C 左右。因為火焰的溫度很高，使鋼的表面在極短時間內升到淬火溫度，同

时因加热的時間很短，表面的溫度來不及傳到鋼的內部去。淬

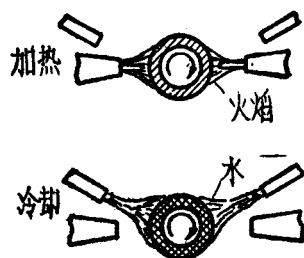


图4. 火焰淬火法

火的結果，虽然表面層已經到达了馬氏体的組織，但是內心部分的組織仍然未变。因此表面層硬度很高，中心部分仍有足够的韌性(图4)。火焰淬火层的深度最大可到6公厘左右。

2. 高頻率電流感应加热表面淬火 这种表面淬火法是一种比較先进和能够获得优良質量的方法之一。它有不少优点，例如：

(1)可以得到任何深度的淬火层；

(2)生产率高；

(3)得到高的硬度；

(4)不容易使鋼的表面氧化、不容易产生变形；

(5)适用于不同形狀的工件表面淬火；

(6)淬火过程可以自动化；

(7)可以放在机械加工車間的流水綫上；

高頻率淬火有各种不同的用途，如对工件、工具的淬火，回火，金屬熔化，刀片的焊接等。高頻率電流感应加热法，是将工件放于感应圈的强烈电磁場中，在工件之內产生磁場，由于“表面效应”，因而表面層很快地被加热。一般加热的時間只需几秒鐘，即可达淬火溫度(图5)。

高頻率电流是每秒500至10,000,000周的交流頻率的电流。工业用的电流及一般城市電力網都是每秒50周的交流

頻率。

表面淬火法除以上兩項以外，還有在電解液中加熱和接觸電熱表面淬火等方法。

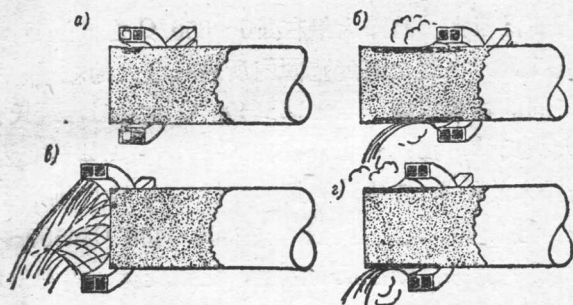


圖5. 高頻淬火法之一

a—在感應器未運動時開始加熱；б—在感應器運動及供給冷卻液下繼續加熱；в—在“行進”淬火下，送電加熱時感應器的狀態；г—繼續着的“行進”淬火過程。

四、鋼的回火

上面曾經敘述，鋼經過淬火以後得到馬氏體的組織。這種組織是不穩定的，雖然硬度很高，但是很脆，同時在淬火時鋼中產生了很大的內應力。這樣在應用時便會得到不良的後果。回火的目的是要消除淬火時所產生的內應力，適當地降低硬度（對某些特殊鋼來說，反而會提高硬度）、提高韌性，以得到良好的性能。回火是鋼的熱處理中最後一道工序，所以非常重要。回火方法可以分為下列幾種：

(1) 低溫回火 為了在回火後不致使鋼的硬度下降較多，

淬火鋼应在 $150^{\circ}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 之間进行回火，回火的時間可以根据工件断面的大小来决定，但最少不得小于一小时。低温回火还可以消除一部分內应力。这种低温回火的方法一般适用于碳鋼、普通合金工具鋼制的刀具等；

(2) 高温回火 將淬火鋼在 $400\sim 650^{\circ}\text{C}$ 之間进行回火，就叫高温回火。在这个温度範圍內所进行回火的結果，可以得到鋼的不同的結構組織。当加热到 400°C 左右时，馬氏体会轉变为回火托氏体，加热到 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ 时，馬氏体轉变为回火索氏体。回火的結果，能使淬火鋼的韌性加大，硬度則适当下降。但对于含有鎳、鉻、錳的合金鋼，在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 和 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 回火时所得的結果，韌性反而降低，使鋼变脆，我們称这类鋼具有“回火脆性”。

(3) 多次回火 多次回火即將回火的次数重复地进行2~4次，这种回火方法主要用来处理高速鋼制的切削工具。主要目的是減少鋼內奧氏体的含量和增加工具的硬度。

五、化学热处理

某些机器上的另件，象汽車上的变速齒輪和花槽軸，許多滑动塊、凸輪、活塞梢、量具以及一些局部摩擦的另件，它們在操作时，并不需要高的强度和彈性，但是要承受輕微的冲击和碰撞力，同时还要承受強力摩擦。因此，这些另件的表面，要具有高的耐磨性，內心部分要有足够的韌性。由于这一类另件比較小，或者外形复杂，不适宜用表面淬火法，所以要采用另一种热处理方法——化学热处理。

以前所介紹的各种热处理方法如退火、淬火、回火，表面

淬火等,对鋼的影响來說,不論經過那几項热处理的操作規程,除了鋼的結構組織有所改变外,鋼的化学成分总是不改变的。但是化学热处理不仅使鋼的結構組織发生变化,而且还改变了鋼表面层的化学成份。这种热处理的主要类型,可分下列几种:

1. 渗碳法 这种方法是使含碳量較低(0.3%以下)的鋼的表面层增加含碳量,淬火后由于鋼的表面层含碳量增加,提高了硬度,而中心部分的含碳量并未增加,因而仍旧保持了韌性。渗碳的方法根据增碳剂的不同,分为固体和气体渗碳法两种。

(1) 固体渗碳法 將鋼件裝在鉄箱中,四周填滿木炭碎粒和碳酸鹽(如碳酸鈉、碳酸鋇等,主要是为了加快渗碳作用)的混合剂,密封后放入加热炉中加热,加热到 $920\sim 950^{\circ}\text{C}$ 的温度,在这个温度中保温一定的時間(時間的長短根据滲入深度的要求来决定)。保温的時間越長,渗碳层越深。

(2) 气体渗碳法 將鋼件放入特制的渗碳炉中,然后在 920°C 左右的温度中加热,同时通入渗碳气体(常用的是甲烷)或用煤油滴入当作渗碳剂。經過一定時間后(也是根据渗碳层深淺的要求来决定時間),可將鋼取出淬火。由于渗碳时的温度比較高,所以淬火前应將渗碳件的温度下降到 800°C 左右,然后就淬入不同的冷却剂中淬火。气体渗碳法的最大优点是渗碳時間快,要比固体渗碳法的時間差不多快一倍。另外,气体渗碳法操作简单、清洁,渗碳层的深度和含碳量也容易控制。在大批生产的工厂中,还可以采用机械化的設備。

2. 鋼的氮化 氮化就是將鋼的表面层用氮加以飽和的方法。鋼的表面飽和氮以后,表层就有很高的硬度,比渗碳层的表面硬度还要高。氮化的時間和操作要比渗碳的時間長得多,