

# 实验一 金相样品的制备

## 一、实验目的

- 1、初步掌握金相样品的制备过程；
- 2、了解显微组织的显露方法。

## 二、实验原理

利用金相显微镜来研究金属和合金组织的方法叫光学显微分析法。它可以解决金属组织方面的很多问题，如非金属夹杂物，金属与合金的组织，晶粒的大小和形状，偏析、裂纹以及热处理工艺是否合理等。

金相样品是用来在显微镜下进行分析、研究的试样，金相样品的制备过程包括取样、磨光、抛光、腐蚀等步骤。

### 1、取样

显微试样的选取应根据研究目的，取其具有代表性的部位。例如，在检验和分析失效零件的损坏原因时，除了在损坏部位取样外，还需要在距破坏较远的部位截取试样，以便比较；在研究金属铸件组织时，由于存在偏析现象，必须从表层到中心同时取样进行观察；对轧制和锻造材料，则应同时截取横向（垂直于轧制方向）及纵向（平行于轧制方向）的金相试样，以便于分析比较表层缺陷及非金属夹杂物的分布情况；对于一般热处理后的零件，由于金相组织比较均匀，试样的截取可在任一截面进行。

试样的截取方法视材料的性质不同而异，软的金属可用手锯或锯床切割，硬而脆的材料（如白口铸铁）则可用锤击取下，对极硬的材料（如淬火钢），则可采用砂轮片切割或电火花线切割加工。但不论用哪种方法取样，都应避免试样受热或变形而引起金属组织变化。为防止受热，必要时应随时用水冷却试样。试样尺寸一般不要过大，应便于握持和易于磨制。其尺寸常采用直径为 12~15mm 的圆柱体或边长为 12~15mm 的方形试样。对形状特殊或尺寸细小不易握持的试样，或为了试样不发生倒角，可采用图 1.1 所示的镶嵌法或机械装夹法。

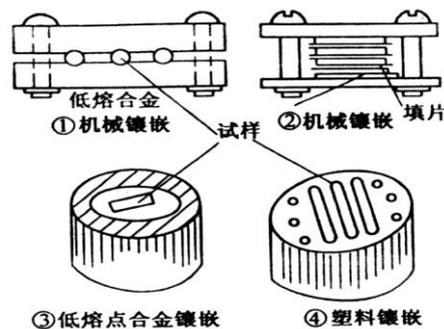


图 1.1 金相试样的镶嵌方法图

镶嵌法是将试样镶嵌在镶嵌材料中，目前使用的镶嵌材料有热固性塑料（如胶木粉）及热塑性材料（聚乙烯、聚合树脂）等。此外还可将试样放在金属圈内，然后注入低熔点物质，如低熔点合金等。

### 2、磨制

试样的磨制一般分为粗磨和细磨两道工序。

粗磨的目的是为了获得一个平整的表面。试样截取后，将试样的磨面用砂轮或锉刀制成平面，同时尖角倒圆。在砂轮上磨制时，应握紧试样，压力不宜过大，并随时用水冷却，以防受热引起金属组织变化。经粗磨后试样表面虽较平整，但仍存在有较深的磨痕。

细磨的目的就是为了消除这些磨痕，以得到平整而光滑的磨面，并为进一步的抛光做好准备，如图 1.2 所示，将粗磨好的试样用水冲洗并擦干后，随即依次用由粗到细的各号金相砂纸将磨面磨光。常用的砂纸号数有 01、02、03、04 等几种，前者磨粒较粗，后者较细。磨制时砂纸应平铺于厚玻璃板上，左手按住砂纸，右手握住试样，使磨面朝下并与砂纸接触，在轻微压力作用下向前推行磨制，用力要均匀，务求平稳，否则会使磨痕过深，而且造成磨面的变形。试样退回时不能与砂纸接触，以保证磨面平整而不产生弧度。这样“单程单向”地反复进行，直至磨面上旧的磨痕被去掉，新的磨痕均匀一致时为止。在调换下一号更细砂纸时，应将试样上磨屑和砂粒清除干净，并转动 90°，即与上一道磨痕方向垂直。为了加快磨制速度，除手工磨制外，还可以将不同型号的砂纸贴在带有旋转圆盘的预磨机上，实现机械磨制。

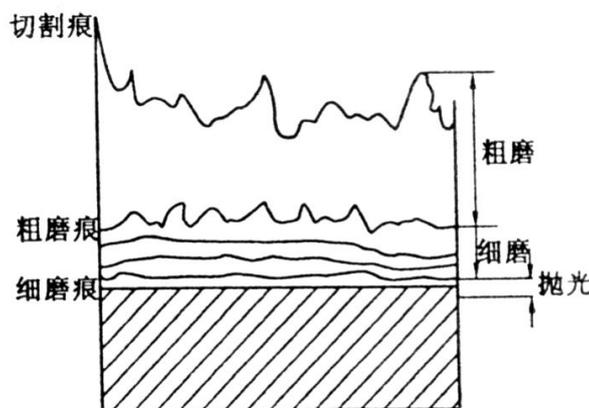


图 1.2 试样磨面上磨痕变化情况示意图

### 3、抛光

抛光的目的在于去除细磨时磨面上遗留下来的细微磨痕和变形层，以获得光滑的镜面。常用的抛光方法有机械抛光、电解抛光和化学抛光三种，其中以机械抛光应用最广，本实验仅介绍机械抛光。

机械抛光是在专用的抛光机上进行。抛光机主要由电动机和抛光圆盘（直径 200~300mm）组成，抛光盘转速为 200~600r/min。抛光盘上铺以细帆布、呢绒、丝绸等。抛光时在抛光盘上不断滴注抛光液。抛光液通常采用  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  或  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  等细粉末（粒度约为 0.5~5 $\mu\text{m}$ ）在水中的悬浮液。机械抛光就是靠极细的抛光粉对磨面的机械作用来消除磨痕而使其成为光滑的镜面。

抛光织物和磨料可按不同要求选用。对于抛光织物的选用，钢一般用细帆布和丝绒；为防止石墨脱落或曳尾，灰铸铁可用没有绒毛的织物；铝、镁、铜等有色金属可用细丝绒。对于磨料的选用，一般来说，钢、铸铁可用氧化铝、氧化铬及金刚石研磨膏，有色金属等软材料可用细粒度的氧化镁。

在实际使用中，应根据织物的性能及被抛光试样的特点，灵活选用。操作时将试样磨面均匀地压在旋转的抛光盘上，并沿盘的边缘到中心不断做径向往复运动，同时，试样自身略加旋转，以便试样各部分抛光程度一致及避免曳尾现象的出现。抛光过程中抛光液滴注量的确定以试样离开抛光盘后试样表面的水膜在数秒钟可自行挥发为宜。抛光时间一般为 3~5min。

抛光后的试样，其磨面应光亮无痕，且石墨或夹杂物等不应抛掉或有曳尾现象。抛光后的试样应用清水冲洗干净，然后用酒精冲去残留水滴，再用吹风机吹干。

#### 4、浸蚀

抛光后的试样磨面是一光滑镜面，若直接放在显微镜下观察，只能看到一片亮光，除某些非金属夹杂物、石墨、孔洞、裂纹外，无法辨别出各种组成物及其形态特征。必须经过适当的浸蚀，才能使显微组织正确地显示出来。目前，最常用的浸蚀方法是化学浸蚀法。

化学浸蚀法是将抛光好的试样磨面在化学浸蚀剂（常用酸、碱、盐的酒精或水溶液）中浸蚀或擦拭一定时间。由于金属材料中各相的化学成分和结构不同，故具有不同的电极电位，在浸蚀剂中就构成了许多微电池，电极电位低的相为阳极而被溶解，电极电位高的相为阴极而保持不变。故在浸蚀后就形成了凹凸不平的表面，在显微镜下，由于光线在各处的反射情况不同，就能观察到金属的组织特征。

纯金属及单相合金浸蚀时，由于晶界原子排列较乱，缺陷及杂质较多，具有较高的能量，故晶界易被浸蚀而呈凹沟。在显微镜下观察时，光线在晶界处产生漫反射而不能进入物镜，因此显示出一条条黑色的晶界，如图 1.3(a)所示。对于两相合金，由于电极电位不同，负电位的一相被腐蚀形成凹沟，当光线照射到凹凸不平的试样表面时，就能看到不同的组成相，如图 1.3(b)所示。

应当指出，金属中各个晶粒的成分虽然相同，但由于其原子排列位向不同，也会使磨面上各晶粒的浸蚀程度不一致，在垂直光线照射下，各个晶粒就呈现明暗不一的颜色。

化学浸蚀剂的种类很多，应按金属材料的种类和浸蚀的目的，选择恰当的浸蚀剂（见附录 I）。

浸蚀时，应将试样磨面向上浸入一盛有浸蚀剂的容器内，并不断地轻微晃动（或用棉花沾上浸蚀剂擦拭磨面），待浸蚀适度后取出试样，迅速用水冲洗，接着用酒精冲洗，最后用吹风机吹干，其表面需严格保持清洁。浸蚀时间要适当，一般试样磨面发暗时就可停止，其时间取决于金属的性质、浸蚀剂的浓度以及显微镜下观察时的放大倍数。总之，浸蚀时间以在显微镜下能清晰地显示出组织的细节为准。若浸蚀不足，可再重复进行浸蚀，但一旦浸蚀过度，试样则需重新抛光，甚至还需在最后一号砂纸上进行磨光。

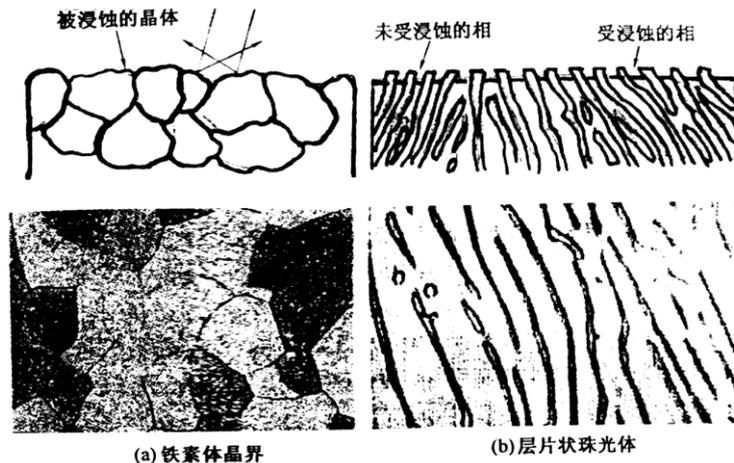


图 1.3 单相和两相组织的显示图

### 三、实验设备及材料

- 1、光学金相显微镜。
- 2、工业纯铁显微组织试样。
- 3、试样切割机、砂轮机、预磨机、抛光机、抛光粉；不同型号的金相砂纸。
- 4、3%硝酸酒精溶液、酒精、棉花、吹风机等。

#### 四、实验内容及步骤

- 1、实验前必须仔细阅读实验教程的有关内容。
- 2、听取实验指导教师讲解金相显微镜的构造、使用方法等，熟悉显微镜的构造及使用规程。
- 3、由指导教师讲解金相试样制备的基本操作过程，然后学生每人一块试样，分别进行试样制备全过程的练习，直到制成合格的金相试样。
- 4、在金相显微镜下观察所制备试样的显微组织特征。

#### 五、实验报告要求

- 1、写出实验名称和实验目的。
- 2、简要描述光学金相显微镜的使用规程。
- 3、说明试样制备的过程及其注意事项。
- 4、在直径约 40mm 的圆周内，画出经浸蚀后所制备试样的显微组织图，并注明试样材料、组织类别、浸蚀剂与放大倍数等。

#### 六、参考资料

- 1、GB2975-1998 钢材力学及工艺性能试验取样规定；
- 2、GB/T13298-91 金属显微组织检验方法。

##### 附录（金相显微镜的结构及使用）

金相分析是研究工程材料内部组织结构的主要方法之一，特别是在金属材料的研究领域占有很重要的地位。而金相显微镜是进行显微分析的主要工具，利用金相显微镜在专门制备的试样上观察材料的组织和缺陷的方法，称为金相显微分析。显微分析可以观察、研究材料的组织形貌、晶粒大小、非金属夹杂物（如氧化物、硫化物等）在组织中的数量和分布情况等，即可以研究材料的组织结构与其化学成分(组成)之间的关系，确定各类材料经不同加工工艺处理后的显微组织，可以判别材料质量的优劣等。

在现代显微分析中，使用的主要仪器有光学显微镜和电子显微镜两大类。由于光学的原因，金相显微镜的放大倍数为几十倍到 2000 倍左右，鉴别能力为 250nm 左右，若观察工程材料的更精细结构（如镶嵌块等），则要用近代技术中放大倍数可达几十万倍的透射、扫描电子显微镜及 X 射线衍射技术等。以下仅对常用的光学金相显微镜作一简介。

##### 1、金相显微镜的基本原理

金相显微镜的基本原理如图 1.4、1.5 所示。它包括两个透镜：物镜和目镜。对着被观察物体的透镜，叫做物镜；对着人眼的透镜，叫做目镜。被观察物体 AB，放在物镜前焦点  $F_1$  略远一点的地方。物镜使物体 AB 形成倒立放大的实像  $A_1B_1$ ，目镜再把  $A_1B_1$  放大成正立的虚像  $A'_1B'_1$ ，它在人眼明视距离处，即距人眼 250mm 处，人眼通过目镜看到的就是这个虚像

$A'_1B'_1$ 。显微镜的主要性能指标有：

(1) 显微镜的放大倍数。显微镜的放大倍数等于物镜和目镜单独放大倍数的乘积，即物镜放大倍数  $M_{物}=A_1B_1/AB$ ；目镜放大倍数  $M_{目}=A'_1B'_1/A_1B_1$ ；显微镜放大倍数  $M=A'_1B'_1/AB=$

$M_{物} \times M_{目}$ 。物镜和目镜的放大倍数刻在嵌圈上，如 10×、20×、45× 分别表示放大 10 倍、20 倍、45 倍。

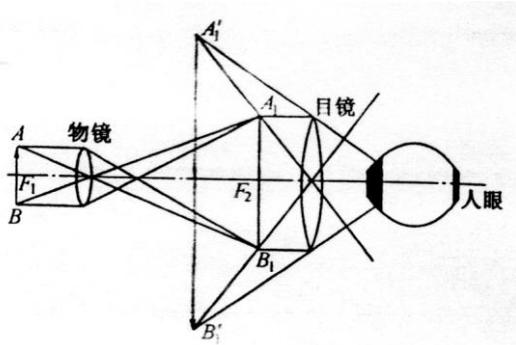


图 1.4 显微镜成像的光学简图

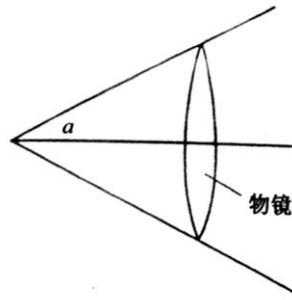


图 1.5 物镜的孔径角

(2) 显微镜的鉴别率。显微镜的鉴别率是指它能清晰地分辨试样上两点间的最小距离  $d$ ， $d$  值越小，鉴别率就越高。鉴别率是显微镜的一个重要的性能指标，它决定于物镜数值孔径  $N.A.$  和所用的光线波长  $\lambda$ ，可用下式表示

$$d = \frac{\lambda}{2N.A.}$$

式中  $\lambda$  ——入射光线的波长；

$N.A.$  ——物镜的数值孔径；

$\lambda$  越小， $N.A.$  越大，则  $d$  越小。光线的波长可通过光源或滤色片来选择。当光线波长一定时，可改变物镜数值孔径来调节显微镜的鉴别率。

(3) 物镜数值孔径。数值孔径表示物镜的聚光能力，其大小为

$$N.A. = n \cdot \sin \alpha$$

式中  $n$  ——物镜与试样之间介质的折射率；

$\alpha$  ——物镜孔径角的一半（图 1.5）。

$n$  越大或  $\alpha$  角越大， $N.A.$  越大。由于  $\alpha$  总是小于  $90^\circ$ ，当介质为空气时 ( $n=1$ )， $N.A.$  一定小于 1；当介质为松柏油时 ( $n=1.5$ )， $N.A.$  值最高可达 1.4。物镜上刻有  $N.A.$  值，如 0.25、0.65 等。

(4) 显微镜的有效放大倍数

经物镜放大而得到的中间像，又经目镜放大，但目镜放大倍数是有一定范围限制的，近似计算显微镜的有效放大倍数的经验公式如下：

$$M_{\text{有效}} = (500 \sim 1000) N.A.$$

例如：某  $40\times$  物镜其数值孔径  $N.A.=0.65$ ，则其有效放大倍数  $M_{\text{有效}}$  为

$$M_{\text{总}} = M_{\text{物}} \times M_{\text{目}}$$

$$M_{\text{总}} = M_{\text{有效}} = (500 \sim 1000) N.A. = (500 \sim 1000) \times 0.65 \\ = 325 \sim 650 \times$$

所以  $M_{\text{目}} = (325 \sim 650) / 40 = 8 \sim 16 \times$

所以选用的目镜放大倍数为  $8 \sim 16 \times$ ，均可满足要求，目镜倍数小于  $8 \times$  时，不能充分发挥物镜的分辨能力。若大于  $16 \times$  时，只是简单的放大，其物体的像反而不如放大倍数较低时清晰，这种放大称为“虚放大”或“无效放大”。

## 2、显微镜的构造

金相显微镜的种类和类型很多，但最常见的形式有台式、立式和卧式三大类。金相显微镜的构造通常由光学系统、照明系统以及机械系统三大部分组成。有的金相显微镜还附带有照相摄影装置。现以国产 XJB-1 型金相显微镜为例进行说明。

XJB-1 型金相显微镜的结构如图 1.6 所示。由灯泡发出一束光线，经聚光镜组及反光镜被汇聚在孔径光阑上，然后经过聚光镜，再度将光线聚集在物镜的后焦面上，最后经过物镜，使试样表面得到充分均匀的照明。从试样反射回来的光线复经物镜、辅助透镜、半反射镜以及棱镜，形成一个物体的倒立放大实像。该像再经场透镜和目透镜组成的目镜放大，即可得到所观察的试样表面的放大图像。

XJB-1 型金相显微镜各部件的功能及使用简单介绍如下。

(1) 照明系统。在底座内装有作为光源的低压（6~8V，15W）灯泡，由变压器降压供电，靠调节次级电压（6~8V）来改变灯光的亮度。聚光镜、反光镜及孔径光阑(14)等均装在圆形底座上，视场光阑(13)及另一聚光镜安在支架上，它们组成显微镜的照明系统，使试样表面获得充分、均匀的照明。

(2) 调焦装置。在传动箱⑤的两侧有粗动和微动调焦手轮（⑥和⑦），转动粗调焦手轮可使支承载物台的弯臂做上下移动。微调焦手轮转动时仅使弯臂上下缓慢移动。

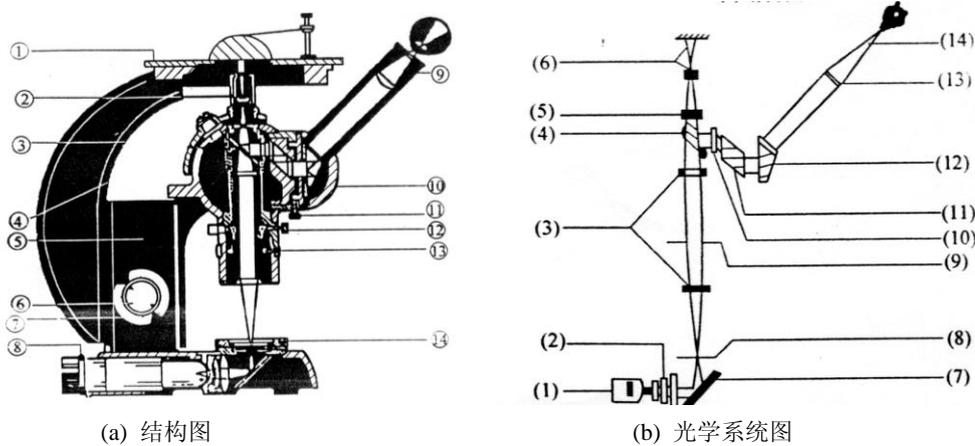


图 1.6 XJB-1 型金相显微镜

(3) 载物台。载物台①用于放置金相试样，它与下面托盘之间用导架连接，移动结构采用粘性油膜连接，在手的推动下，可使载物台做水平移动，以改变试样的观察部位。

(4) 孔径光阑和视场光阑。孔径光阑(14)装在照明反射镜座上面，刻有0~5分刻线上，它表示孔径大小的毫米数，视场光阑(13)装在物镜支架下面，可以旋转滚花套圈来调节视场光阑大小。在套圈上方有两个滚花螺钉，用来调节视场光阑中心，通过调节孔径和视场光阑的大小，可以提高后映像的质量。

(5) 物镜转换器和物镜。物镜转换器④呈球面形，上面有三个螺孔，物镜②装在螺孔中，旋转转换器可使物镜镜头进入光路，并与不同的目镜匹配成各种放大倍数。

(6) 目镜管和目镜。目镜管⑩呈 45° 倾斜式安装在附有棱镜的半球形座上。

### 3、显微镜操作和注意事项

金相显微镜是贵重的精密光学仪器，在使用中必须十分爱护，自觉遵守操作程序。

#### a. 显微镜的操作规程

- (1) 选用适当载物台，将试样放在载物台上。
- (2) 按观察需要，选择物镜和目镜，转动粗调焦手轮，升高载物台，并将物镜和目镜分别装在物镜转换器及目镜管上。
- (3) 将灯泡的导线插头插入 5V 或 6V 变压器上（照相时用 8V），并把变压器与电源相接，使灯泡发亮。
- (4) 转动粗调焦手轮，使载物台下降，待看到组织后，再转动微调焦手轮直至图像清晰为止。
- (5) 缩小视场光阑，使其中心与目镜视场中心大致重合，然后打开视场光阑，使其边缘轮廓刚好消失于目镜视场之外。
- (6) 根据所观察试样的要求，调整孔径光阑的大小。

#### b. 注意事项

- (1) 不能用手触摸目镜、物镜镜头。
- (2) 不能用手触摸金相试样的观察面，要保持干净，观察不同部位组织时，可以平推载物台，不要挪动试样，以免划伤观察表面。
- (3) 照明灯泡电压一般为 6V、8V，必须通过降压变压器使用，千万不可将灯泡插头直接插入 220V 电源，以免烧毁灯泡。
- (4) 操作要细心，不得有粗暴和剧烈的动作，调焦距时要慢慢下降载物台(1)使试样接近物镜，但不要碰到物镜，以免损伤物镜。
- (5) 使用中出现故障和问题，立即报告指导教师处理。
- (6) 使用完毕后，把显微镜恢复到使用前的状态并罩好显微镜，方可离开实验室。

## 实验二 铁碳合金的平衡组织

### 一、实验目的

- 1、研究和了解铁碳合金（碳钢及白口铸铁）在平衡状态下的显微组织。
- 2、分析成分（含碳量）对铁碳合金显微组织的影响，从而加深理解成分、组织与性能之间的相互关系。

### 二、实验原理

铁碳合金的显微组织是研究和分析钢铁材料性能的基础，所谓平衡状态的显微组织是指合金在极为缓慢的冷却条件下（如退火状态，即接近平衡状态）所得到的组织。我们可根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图来分析铁碳合金在平衡状态下的显微组织（如图 2.1 所示）。

铁碳合金的平衡组织主要是指碳钢和白口铸铁组织，其中碳钢是工业上应用最广的金属材料，它们的性能与其显微组织密切相关。此外，对碳钢和白口铸铁显微组织的观察和分析，有助于加深对 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图的理解。

从 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图上可以看出，所有碳钢和白口铸铁的室温组织均由铁素体（F）和渗碳体（Fe<sub>3</sub>C）这两个基本相所组成。但是由于含碳量不同，铁素体和渗碳体的相对数量、析出条件以及分布情况均有所不同，因而呈现各种不同的组织形态。

各种不同成分的铁碳合金在室温下的显微组织见表 2-1。

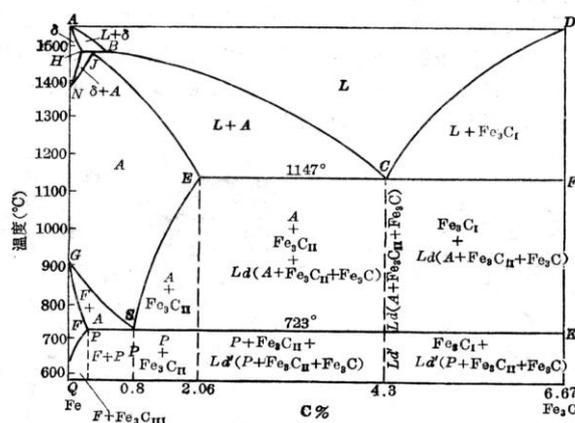


图 2.1 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图

用浸蚀剂显露的碳钢和白口铸铁，在金相显微镜下具有下面几种基本组织组成物。

(1) 铁素体（F）——是碳在α-Fe中的固溶体。铁素体为体心立方晶格，具有磁性及良好塑性，硬度较低。用 3~4% 硝酸酒精溶液浸蚀后，在显微镜下呈现明亮的等轴晶粒；亚共析钢中铁素体呈块状分布；当含碳量接近于共析成分时，铁素体则呈断续的网状分布于珠光体周围。

(2) 渗碳体（Fe<sub>3</sub>C）——是铁与碳形成的一种化合物，其碳含量为 6.67%，质硬而脆，耐腐蚀性强，经 3~4% 硝酸酒精溶液浸蚀后，渗碳体呈亮白色，若用苦味酸钠溶液浸蚀，则渗碳体可以被染成暗黑色或棕红色，而铁素体仍为白色，由此可区别铁素体与渗碳体。按照成分和形成条件的不同，渗碳体可以呈现不同的形态：一次渗碳体（初生相）是直接由液体中析出的，故在白口铸铁中呈粗大的条片状；二次渗碳体（次生相）是从奥氏体中析出的，往往呈网络状沿奥氏体晶界分布；三次渗碳体是由铁素体中析出的，通常呈不连续薄片状存在于铁素体晶界处，数量极微，可忽略不计。

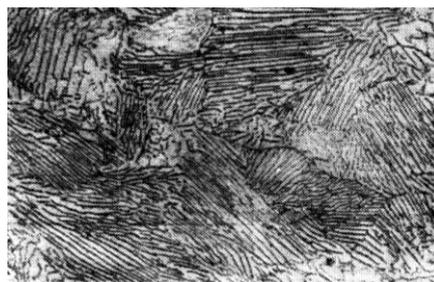
表 2-1 各种铁碳合金在室温下的显微组织

类型	含碳量(%)	显微组织	侵蚀剂
工业纯铁	<0.02	铁素体	4%硝酸酒精溶液
碳钢	亚共析钢	铁素体+珠光体	4%硝酸酒精溶液
	共析钢	珠光体	4%硝酸酒精溶液
	过共析钢	珠光体+二次渗碳体	4%硝酸酒精溶液
白口铸铁	亚共晶白口铁	珠光体+二次渗碳体+莱氏体	4%硝酸酒精溶液
	共晶白口铁	莱氏体	4%硝酸酒精溶液
	过共晶白口铁	莱氏体+一次渗碳体	4%硝酸酒精溶液

(3) 珠光体 (P) ——是铁素体和渗碳体的机械混合物，在一般退火处理情况下是由铁素体与渗碳体相互混合交替排列形成的层片状组织。经硝酸酒精溶液浸蚀后，在不同的放大倍数下可以看到不同特征的珠光体组织（如图 2.2 所示）。在高倍放大时能清楚地看到珠光体中片层相间的宽条铁素体和细条渗碳体；当放大倍数较低时，由于显微镜的鉴别能力小于渗碳体片的厚度，这时珠光体中的渗碳体就只能看到是一条黑线，当组织较细而放大倍数较低时，珠光体的片层就不能分辨，而呈黑色。



(a) 500×



(b) 1500×



(c) 7000×

图 2.2 不同放大倍数下的珠光体显微组织

表 2-2 各类组织组成物的机械性能

组 成 物 \ 性 能	硬度 (HB)	抗拉强度 $R_m$ (MPa)	断面收缩率 Z(%)	断后伸长率 A(%)	冲击功 $A_K$ (J)
铁素体	60~90	120~230	60~75	40~50	160
渗碳体	750~820	30~35	—	—	≈0
片状珠光体	190~230	860~900	10~15	9~12	24~32
球状珠光体	160~190	650~750	18~25	18~25	32~37

高碳工具钢（过共析钢）经球化退火处理后还可获得球状珠光体组织。

上述各类组织组成物的机械性能见表 2-2。

(4) 莱氏体 ( $Ld'$ ) ——在室温时由珠光体及二次渗碳体和渗碳体所组成的机械混合物。含碳量为 4.3% 的共晶白口铸铁在 1147℃ 时形成由奥氏体和渗碳体组成的共晶体，其中奥氏体冷却时析出二次渗碳体，并在 723℃ 以下分解为珠光体。莱氏体的显微组织特征是在亮白色的渗碳体基体上相间地分布着暗黑色斑点及细条状的珠光体。二次渗碳体和共晶渗碳体连在一起，从形态上难以区分。莱氏体的金相特征可参看图 2.7。

根据组织特点及碳含量的不同，铁碳合金可分为工业纯铁、钢和铸铁三大类。

### 1、工业纯铁

纯铁在室温下具有单相铁素体组织。含碳量 < 0.02% 的铁碳合金通常称为工业纯铁，它为两相组织，即由铁素体和少量三次渗碳体组成。图 2.3 所示为工业纯铁的显微组织，其中黑色线条是铁素体的晶界，而亮白色基体则是铁素体的不规则等轴晶粒，在某些晶界处可以看到不连续的薄片状三次渗碳体。

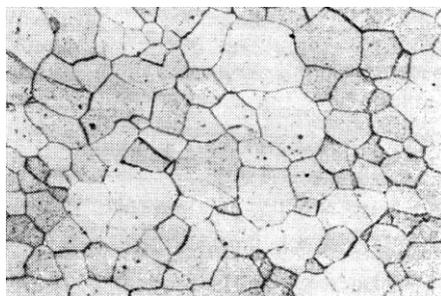


图 2.3 工业纯铁显微组织 200×

浸蚀剂：4% 硝酸酒精溶液

### 2、钢

#### (1) 亚共析钢

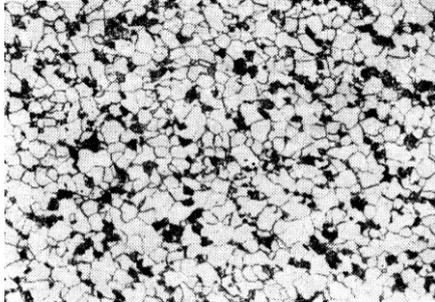
亚共析钢的含碳量在 0.02% ~ 0.8% 范围内，其组织由铁素体和珠光体所组成。随着含碳量的增加，铁素体的数量逐渐减少，而珠光体的数量则相应地增多，两者的相对数量可由杠杆定律求得。例如：含碳量为 0.45% 的钢（45 钢）珠光体的相对量为

$$P(\%) = \frac{0.45}{0.8} \times 100\% = 56\%, \quad \text{铁素体的相对量为 } F(\%) = \frac{0.8 - 0.45}{0.8} \times 100\% = 44\%。$$

另外，也可通过直接在显微镜下观察珠光体和铁素体各自所占面积的百分数，近似地计算出钢的碳含量，即碳含量  $\approx P \times 0.8\%$ ，其中  $P$  为珠光体所占面积百分数。例如：在显微镜下观察到有 50% 的面积为珠光体，50% 的面积为铁素体，则此钢的含碳量

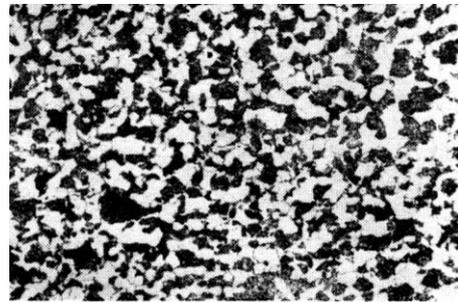
$C\% = \frac{50 \times 0.8}{100} = 0.4(\%)$  (室温下铁素体含碳量极微, 约为 0.008%, 可忽略不计), 即相当于 40 钢。

图 2.4 所示为亚共析钢 (20 钢和 45 钢) 的显微组织, 其中亮白色为铁素体, 暗黑色为珠光体。



(a) 20 钢 200×

浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液



(b) 45 钢 200×

浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液

图 2.4 亚共析钢显微组织

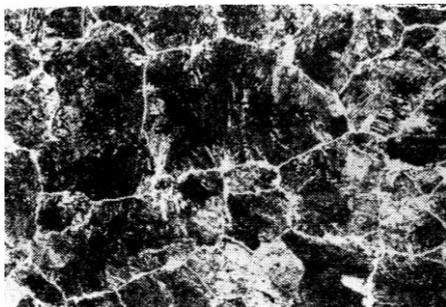
## (2) 共析钢

含碳量为 0.8% 的碳钢称为共析钢, 它由单一的珠光体组成, 组织如图 2.2 所示。

## (3) 过共析钢

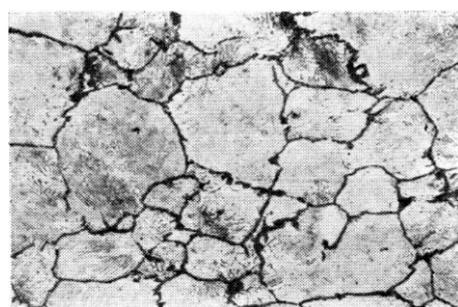
含碳量超过 0.8% 的碳钢称为过共析钢, 它在室温下的组织由珠光体和二次渗碳体组成。钢中含碳量越多, 二次渗碳体数量就越多。

图 2.5 表示含碳量为 1.2% 的过共析钢的显微组织。组织形态为层片相间的珠光体和细小的网络状渗碳体, 经硝酸酒精溶液浸蚀后珠光体呈暗黑色, 而二次渗碳体呈白色细网状, 如图 2.5 (a) 所示; 若采用苦味酸钠溶液浸蚀, 渗碳体就被染成黑色, 而铁素体仍保留白色, 如图 2.5 (b) 所示。



(a)

浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液



(b)

浸蚀剂: 碱性苦味酸钠溶液

图 2.5 过共析钢 (T12) 显微组织 400×

## 3、铸铁

### (1) 亚共晶白口铸铁

含碳量 < 4.3% 的白口铸铁称为亚共晶白口铸铁。在室温下亚共晶白口铸铁的组织为珠光体、二次渗碳体和莱氏体, 如图 2.6 所示。用硝酸酒精溶液浸蚀后在显微镜下呈现黑色枝晶状的珠光体和斑点状莱氏体组织特征。

### (2) 共晶白口铸铁

共晶白口铸铁的含碳量为 4.3%, 它在室温下的组织是由单一的共晶莱氏体组成。经浸蚀后, 在显微镜下珠光体呈暗黑色细条及斑点状, 渗碳体呈亮白色, 如图 2.7 所示。

### (3) 过共晶白口铸铁

含碳量大于 4.3% 的白口铸铁称为过共晶白口铸铁，在室温下的组织由一次渗碳体和莱氏体组成。用硝酸酒精溶液浸蚀后，在显微镜下可观察到在暗色斑点状的莱氏体基体上分布着亮白色粗大条片状的一次渗碳体，如图 2.8 所示。

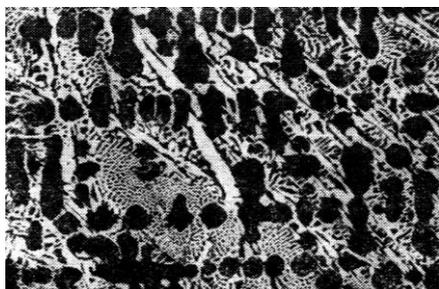


图 2.6 亚共晶白口铸铁显微组织 200×  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

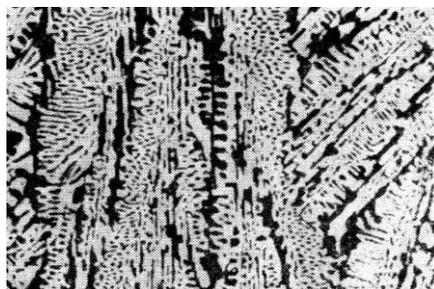


图 2.7 共晶白口铸铁显微组织 200×  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

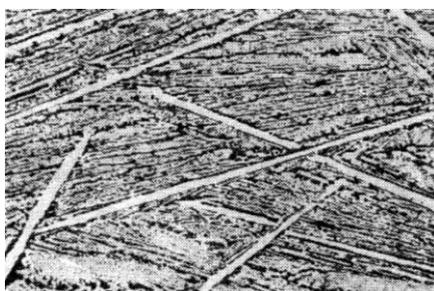


图 2.8 过共晶白口铸铁显微组织 200×  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

## 三、实验设备及材料

- 1、金相显微镜；
- 2、金相图谱；
- 3、各种铁碳合金的显微样品（见表 2-3）。

## 四、实验内容及步骤

- 1、在本实验中，学生应根据铁碳合金相图分析各类成分合金的组织形成过程，并通过对铁碳合金平衡组织的观察和分析，熟悉钢和铸铁的金相组织和形态特征，以进一步建立成分与组织之间相互关系的概念。
- 2、实验前学生应复习教材中的有关部分并阅读实验指导书，为实验做好理论方面的准备。
- 3、在显微镜下对各种试样进行观察和分析，并确定其所属类型。
- 4、绘出所观察到的显微组织图。画图时应抓住组织形态的特征，并在图中表示出来。
- 5、根据显微组织近似确定亚共析钢（20 钢或 45 钢）中的平均含碳量。

表 2-3 几种碳钢和白口铸铁的显微样品

编号	材料	热处理	组织名称及特征	浸蚀剂	放大倍数
1	工业纯铁	退火	铁素体(呈等轴晶粒)和微量三次渗碳体(薄片状)	4%硝酸酒精溶液	100×~500×
2	20 钢	退火	铁素体(呈块状)和少量的珠光体	4%硝酸酒精溶液	100×~500×
3	45 钢	退火	铁素体(呈块状)和相当数量的珠光体	4%硝酸酒精溶液	100×~500×
4	T8 钢	退火	铁素体(宽条状)和渗碳体(细条状)相间交替排列	4%硝酸酒精溶液	100×~500×
5	T12 钢	退火	珠光体(暗色基底)和细网络状二次渗碳体(白色网状)	4%硝酸酒精溶液	100×~500×
6	亚共晶白口铁	铸态	珠光体(呈黑色枝晶状)、莱氏体(斑点状)和二次渗碳体(在枝晶周围)	4%硝酸酒精溶液	100×~500×
7	共晶白口铁	铸态	莱氏体, 即珠光体(黑色细条及斑点状)和渗碳体(亮白色)	4%硝酸酒精溶液	100×~500×
8	过共晶白口铁	铸态	莱氏体(暗色斑点)和一次渗碳体(粗大条片状)	4%硝酸酒精溶液	100×~500×

### 注意事项

- 1、在观察显微组织时, 可先用低倍全面地进行观察, 找出典型区域, 然后再用高倍放大, 对部分地区进行详细的观察。
- 2、在移动金相试样时, 不得用手指触摸试样表面, 以免引起显微组织模糊不清, 影响观察。
- 3、画组织图时应抓住组织形态的特点, 画出典型区域的组织, 注意不要将磨痕或杂质画在图上。

### 五、实验报告要求

- 1、写出实验目的。
- 2、画出所观察过的组织, 并注明材料名称、含碳量、浸蚀剂和放大倍数。显微组织图画在直径约 40mm 的圆内, 并将组织组成物名称以箭头引出标明。
- 3、根据所观察的显微组织近似地确定和估算一种亚共析钢的含碳量。

# 实验三 钢铁材料的非平衡组织

## 一、实验目的

- 1、观察和研究碳钢经不同热处理后的显微组织。
- 2、了解几种钢铁材料在不同使用条件下的组织和性能的变化。

## 二、实验原理

碳钢退火后的组织是平衡组织，正火后的组织接近平衡组织；而经淬火得到的是不平衡组织。研究不平衡组织时，不仅要用铁碳合金相图来加以分析，而且更重要的是参考 C 曲线（钢的等温转变曲线）。图 3-1 为共析钢的 C 曲线图，它能说明一定成分的钢在不同冷却条件下的结晶过程以及所得到的组织。

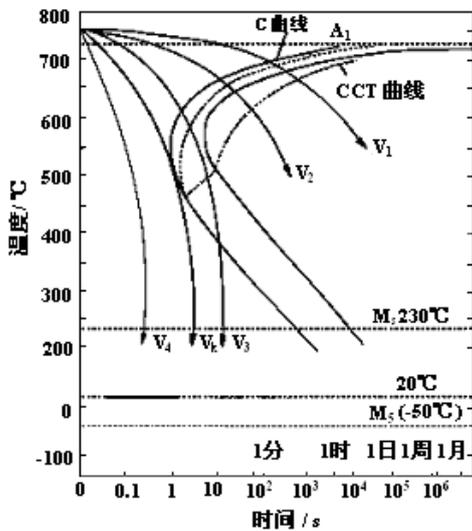


图 3-1 共析钢的 C 曲线图

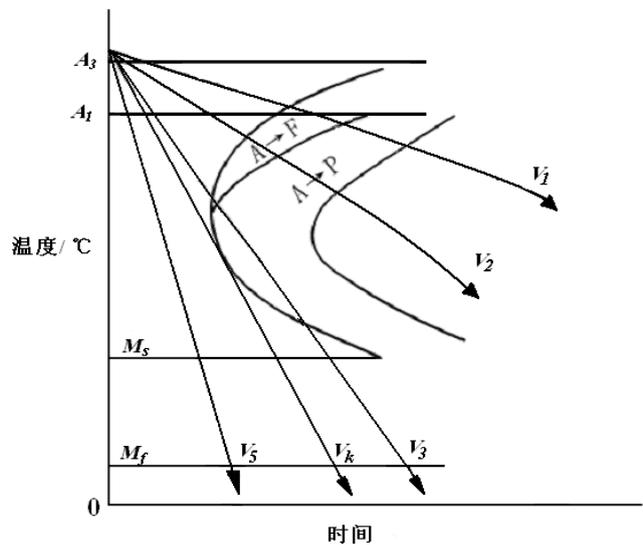


图 3-2 亚共析钢的 C 曲线图

$V_1$ —炉冷； $V_2$ —空冷； $V_3$ —油冷； $V_4$ —水冷

### （一）共析钢连续冷却时的显微组织

共析钢经奥氏体化后慢冷时（例如炉冷、相当于图 3-1 中的  $V_1$ ），应得到 100% 的珠光体。冷速增大到  $V_2$  时（相当于空冷），得到的是较细的珠光体，即索氏体或屈氏体。当冷速增大到  $V_3$  时（相当于油冷），得到的为屈氏体和马氏体。冷速再增大到  $V_k$ 、 $V_4$  时（相当于水冷），很大的过冷度使奥氏体骤冷到马氏体转变开始点（ $M_s$ ），瞬时转变成马氏体。其中与 C 曲线鼻尖相切的冷却速度（ $V_k$ ）称为淬火的临界冷却速度。

### （二）亚共析和过共析钢连续冷却时的显微组织

亚共析钢的 C 曲线与共析钢相比，在珠光体转变开始前多一条铁素体析出线，如图 3-2 所示。

当钢缓慢冷却时（相当于炉冷，见图 3-2 中的  $V_1$ ），得到的组织为接近于平衡状态的铁素体加珠光体。随冷速的逐渐增加，由  $V_1 \rightarrow V_2$  时，奥氏体的过冷程度增大，生成的先共析铁素体量减少，并且要沿晶界分布；同时珠光体量增多，含碳量下降，组织变得更细。因此与  $V_1$ 、 $V_2$  对应的组织将为：铁素体+珠光体、铁素体+索氏体。

当冷却速度增加到  $V_3$  时，只析出很少量的网状铁素体和屈氏体（有时可见到少量的贝氏体），奥氏体则主要转变为马氏体。当冷速超过临界冷速  $V_k$  时，钢全部转变为马氏体组织。

过共析钢转变与亚共析钢相似，不同之处是亚共析钢先析出的是铁素体，而过共析钢先析出的是渗碳体。

### (三) 基本组织的金相特征

1、索氏体(S)：是铁素体与片状渗碳体的机械混合物。片层分布比珠光体细密，在高倍(700×左右)显微镜才能分辨出层片状。

2、屈氏体(T)：也是铁素体与片状渗碳体的机械混合物。片层分布比索氏体更细密，在一般光学显微镜下无法分辨，只能看到黑色组织如墨菊状。当其少量析出时，沿晶界分布呈黑色网状包围马氏体。当析出量较多时，则呈大块黑色晶粒状，只有在电子显微镜下观察才能分辨其中的片层状。

层片愈细，则塑性变形抗力愈大，强度及硬度愈高，另一方面，塑性及韧性则有所下降。

3、贝氏体(B)：贝氏体主要有三种形态，即羽毛状上贝氏体、针状下贝氏体及粒状贝氏体。

a.上贝氏体(B<sub>上</sub>)基本特征：条状铁素体大致平行排列，在铁素体条间分布与铁素体条轴相平行的条状渗碳体，同时铁素体条内有较高的位错密度，如图 3-3 所示。

b.下贝氏体(B<sub>下</sub>)基本特征：有一定取向的黑色针状组织，比淬火马氏体易腐蚀，极类似于针状回火马氏体。针状铁素体内沉淀有碳化物，碳化物的取向与铁素体的长轴线呈 55~60°，如图 3-4 所示。

c.粒状贝氏体(B<sub>粒</sub>)：在低中碳合金钢中，特别是连续冷却时(如正火、热轧空冷或焊接热影响区)往往出现这种组织，在等温冷却时也可能形成，其形成温度在中温转变区的较高温度，是由铁素体和它所包围的小岛状组织所组成，如图 3-5 所示。岛状组织刚形成时为富碳奥氏体，随后的转变可以有三种情况：分解为铁素体和碳化物；发生马氏体转变；仍然保持为富碳的奥氏体。



图 3-3 B<sub>上</sub> 500×

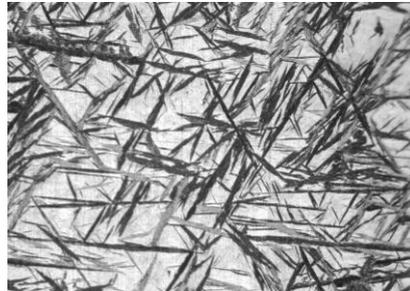


图 3-4 B<sub>下</sub> 500×



图 3-5 B<sub>粒</sub> 200×

4、马氏体(M)：是碳在 $\alpha$ -Fe中的过饱和固溶体。马氏体组织形态按其碳含量的高低分为两种，即板条马氏体和片状马氏体。

a.板条状马氏体：一般低碳钢或低碳合金钢淬火后得到图 3-6 所示的板条状马氏体组织。其组织特征：尺寸大致相同的细马氏体条定向平行排列组成马氏体束或马氏体领域。在领域

与领域之间位向差较大，一颗原始的奥氏体晶粒内可形成几个不同的马氏体领域。板条状马氏体具有较低的硬度，好的韧性。

b.片状马氏体：含碳量较高的钢淬火后马氏体呈片状（针状、透镜状、竹叶状）存在，如图 3-7 所示。它区别于板条状马氏体的主要特征：板条状马氏体中毗邻的一根根马氏体是平行的，长度大致相同的狭条；而在片状马氏体中片间不相互平行，在一个奥氏体晶粒内形成的第一片马氏体较粗大，往往横穿整个奥氏体晶粒，将奥氏体晶粒加以分割，使以后形成的马氏体片的大小受到限制。因此片状马氏体的大小不一。同时有些马氏体有一条中脊面，并在马氏体片周围有残余奥氏体存在。

片状马氏体具有高的硬度，低的韧性。

5、回火马氏体：片状马氏体经低温回火（150~250℃）后，得到图 3-8 所示的回火马氏体。它仍具有针状特征，由于有极小的碳化物析出使回火马氏体易受浸蚀，所以在光学显微镜下，颜色比淬火马氏体深。

6、回火屈氏体：淬火钢在中温回火（350~500℃）后，得到回火屈氏体组织。其中金相特征是：原来条状或片状马氏体的形态仍基本保持，第二相析出在其上。回火屈氏体中的渗碳体颗粒很细小，以致在光学显微镜下难以分辨，用电镜观察时发现渗碳体已明显长大。

7、回火索氏体：淬火钢在高温回火（500~650℃）后得到图 3-9 所示的回火索氏体组织。它的金相特征是：铁素体基体上分布着颗粒状渗碳体。碳钢调质后回火索氏体中的铁素体已成等轴状，一般已没有针状形态。

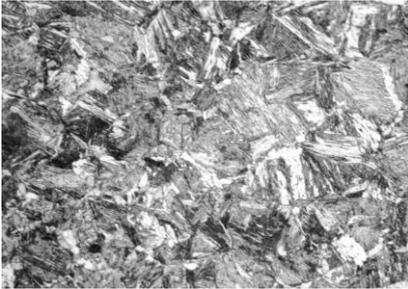


图 3-6 M<sub>板</sub> 200×

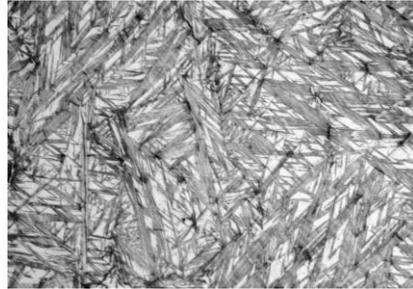


图 3-7 M<sub>针</sub>（淬火态，白针） 200×

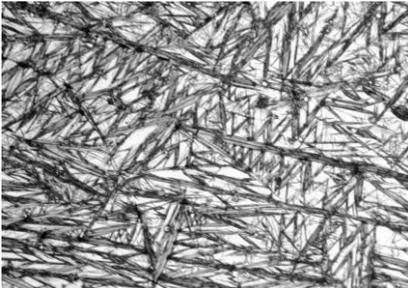


图 3-8 M<sub>针</sub>（回火态，黑针） 200×

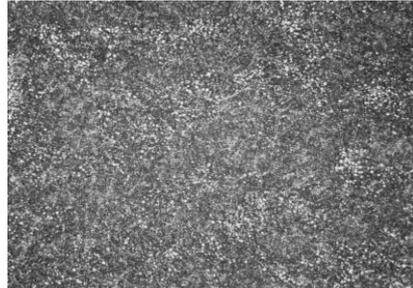


图 3-9 S<sub>回</sub>（GCr15 淬火+回火） 500×

#### （四）电厂金属的组织与性能

在火力发电行业中，用作蒸汽参数不超过 540℃、金属壁温不超过 580℃的锅炉管件材料主要为 20、15CrMo、12Cr1MoV 等碳钢或低合金钢，在高温长时（达数万、甚至数十万小时）运行过程中，其组织会发生明显的变化，特别是珠光体球化，即珠光体中的渗碳体（碳化物）形态由最初的片层状逐渐转变成球状，材料的力学性能也随之下降。球化现象的产生是因为层片状渗碳体的表面能较高，它总是要向能量低的球状渗碳体形状转变。在常温下，由于原子的扩散速度非常缓慢，即使使用很长时间，也不易觉察到这种转变过程。随着温度的提高，原子扩散速度加快，球化过程就变得明显，性能趋势劣化。

对 12Cr1MoV 而言，其正常供货状态（正火态）的显微组织为铁素体+珠光体，珠光体区域明显，珠光体中的碳化物呈层片状，如图 3-10 所示；图 3-11 为发生部分球化（轻度球化）的组织特征，珠光体区域仍较完整，部分碳化物呈粒状，晶界出现较多的碳化物颗粒；图 3-12 为完全球化组织，原珠光体的区域形态特征消失，只留有少量粒状碳化物，晶界碳化物聚集长大。

图 3-13 为锅炉管 12Cr1MoV 的纵向带状组织。带状组织常常出现在热轧低碳钢和低合金钢中，其产生与钢锭中树枝状偏析有关，树枝状结晶导致钢锭中某些合金元素偏析，形成合金元素贫区和富区。在轧制过程中合金元素贫区和富区均沿轧制方向延伸，在轧后的冷却或热处理中优先沿贫区析出铁素体，沿富区析出珠光体，从而形成带状组织。此外，钢中的显微夹杂物也容易在树枝状结晶区富集，在热轧中这些夹杂物呈带状分布，在冷却时铁素体就会以此为核心首先析出，形成铁素体带状组织。

带状组织使金属材料的机械性能产生方向性，特别是横向的塑性和韧性明显降低，使材料的切削性能恶化。试验表明，带状组织使钢在垂直于轧制方向（即垂直于带状组织方向）的伸长率、断面收缩率及冲击值降低，但对钢的屈服强度和抗拉强度影响不大。

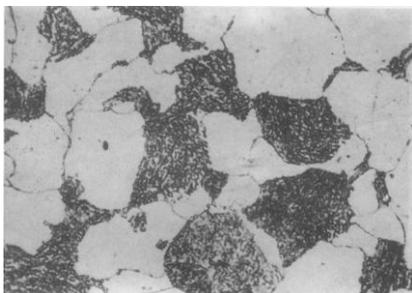


图 3-10 12Cr1MoV 一级 1000×

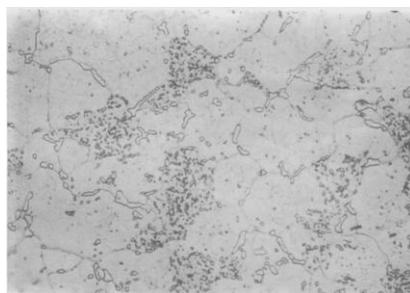


图 3-11 12Cr1MoV 三级 1000×



图 3-12 12Cr1MoV 五级 1000×

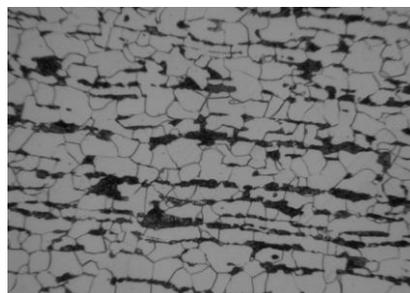


图 3-13 12Cr1MoV 带状组织 200×

### 三、实验设备及材料

- 1、金相显微镜
- 2、各种碳钢热处理后的显微样品及其它使用后的样品一套（见表 3-1）

#### 四、实验内容与步骤

- 1、观察和分析表 3-1 所列试样的显微组织。
- 2、给出所观察样品的显微组织示意图，画图时应抓住组织形态的主要特征，并在图中表示出来。

表 3-1 要求观察的样品

序号	材料	处理状态	浸蚀剂	显微组织
1	20	920℃水冷	4%硝酸酒精	M <sub>板</sub>
2	T12	1100℃水冷	4%硝酸酒精	M <sub>针</sub> +A <sub>残</sub>
3	T12	1100℃水冷 150℃回火	4%硝酸酒精	M <sub>针</sub> +A <sub>残</sub>
4	65Mn	等温淬火	4%硝酸酒精	B <sub>上</sub>
5	65Mn	等温淬火	4%硝酸酒精	B <sub>下</sub>
6	GCr15	淬火+回火	4%硝酸酒精	S <sub>回</sub>
7	12Cr1MoV	新管（正火态）	4%硝酸酒精	F+P
8	12Cr1MoV	540℃高温运行约 5 万小时	4%硝酸酒精	F+C <sub>m</sub>
9	12Cr1MoV	540℃高温运行约 12 万小时	4%硝酸酒精	F+C <sub>m</sub>
10	12Cr1MoV	新管（正火态）	4%硝酸酒精	带状组织（F+P）

#### 五、实验报告要求

- 1、简述实验目的与实验方法。
- 2、本实验的组织应用铅笔描绘在专门实验报告页中，并注明材料、状态、放大倍数，组织特征应在图中用引线标注。
- 3、对有关联的组织应作必要的分析，并对它们的性能变化作出基本描述。

## 实验四 其它常用金属材料的显微组织

### 一、实验目的

- 1、观察几种常用合金钢、铸铁和有色金属的显微组织。
- 2、分析这些金属材料的组织和性能的关系及应用。

### 二、实验原理

#### 1、几种常用合金钢的显微组织

一般合金结构钢、低合金工具钢都是低合金钢。即合金元素总量小于 5% 的钢，由于加入了合金元素，使相图发生了一些变化，但其平衡状态的显微组织与碳钢没有质的区别。热处理后的显微组织仍然可借助 C 曲线来分析，除了 Co 元素之外，合金元素都使 C 曲线右移，所以低合金钢用较低的冷却速度即可获得马氏体组织。例如，40Cr 钢经调质处理后的显微组织和 45 钢调质后的显微组织基本相同，都是回火索氏体。又如 GCr15 钢，除作滚动轴承外，还广泛用作切削工具、冷冲模具、冷轧辊及柴油机喷嘴等。该钢经过球化退火、840℃ 油淬和低温回火后，得到的组织为隐针或细针回火马氏体和细颗粒状均匀分布的碳化物以及少量残余奥氏体（图 4.1）。

高速钢是一种常用的高合金工具钢。如 W18Cr4V 高速钢，因为含有大量合金元素，使 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图中的 E 点大大向左移动，所以它虽然只含有 0.7%~0.8% 的碳，但已经含有莱氏体组织。在高速钢的铸态组织中可看到鱼骨状共晶碳化物，这些粗大的碳化物，不能用热处理方法去除，只能用锻造的方法将其打碎。锻造退火后高速钢的显微组织是由索氏体和分布均匀的碳化物组成。高速钢淬火加热时，有一部分碳化物未溶解，淬火后得到的组织是马氏体、碳化物和残余奥氏体（图 4.2）。碳化物呈颗粒状，马氏体和残余奥氏体都是过饱和的固溶体，腐蚀后都呈白色，无法分辨，但可看到明显的奥氏体晶界。为了消除残余奥氏体，需要进行三次回火，回火后的显微组织为暗灰色回火马氏体、白亮小颗粒状碳化物和少量残余奥氏体（图 4.3）。

1Cr18Ni9 是铬镍不锈钢中应用最广泛的一种奥氏体不锈钢。铬在钢中主要是产生钝化作用、提高电极电位而使钢的耐蚀性提高，镍的加入在于扩大  $\gamma$  相区以及降低 Ms 点，以保证室温下得到奥氏体组织。这种钢缓冷到室温时，在奥氏体晶界处常会出现碳化物和铁素体，易引起晶间腐蚀，所以必须加热到 1050~1100℃ 左右迅速水冷（固溶处理），使其得到全部奥氏体的单相组织（图 4.4），才具有良好的耐腐蚀性能，但若使用温度较高（450~850℃）时，从奥氏体晶界处又会有碳化铬（Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>）析出造成晶间腐蚀，为防止晶间腐蚀的产生，钢中的含碳量应降至 0.06% 以下，或是加入少量的钛或铌。因此出现了 1Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni9Ti 等以及更复杂牌号的奥氏体镍铬不锈钢。

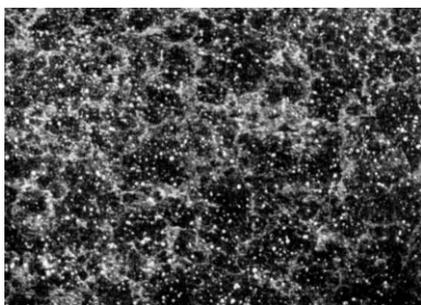


图 4.1 GCr15 钢的淬火回火组织

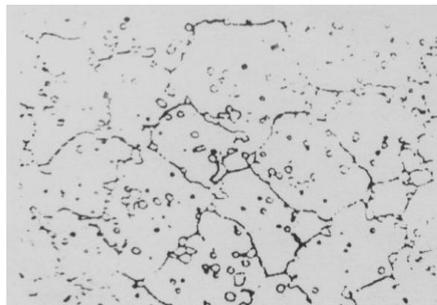


图 4.2 W18Cr4V 钢的淬火组织

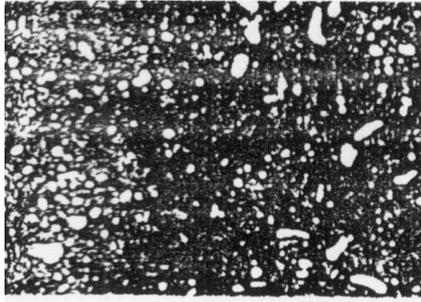


图 4.3 W18Cr4V 钢的淬火回火组织

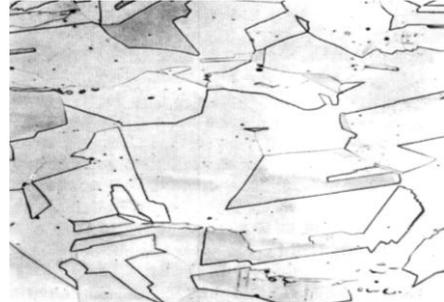


图 4.4 1Cr18Ni9 钢淬火后的组织

## 2、铸铁的显微组织

依铸铁在结晶过程中石墨化程度不同，可分为白口铸铁、灰口铸铁和麻口铸铁。白口铸铁具有莱氏组织而没有石墨，碳几乎全部以碳化物形式 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 存在；灰口铸铁没有莱氏组织，而有石墨，即碳部分或全部以石墨的形式存在。因此，灰口铸铁的组织可以看成是由钢基体和石墨所组成，其性能也由组织的这两个特点所决定；麻口铸铁的组织介于灰口铸铁与白口铸铁之间。白口铸铁和麻口铸铁由于莱氏体的存在而具有较大的脆性。

(1) 石墨。石墨本身的强度、硬度、塑性都很低，几乎等于零。因此，石墨对铸铁的性能影响极大。石墨的形状愈细长、粗大或分布不均匀，则产生应力集中的程度就愈严重，从而大大降低铸铁的强度和塑性。

(2) 基体组织。根据石墨化程度不同，铸铁的基体组织亦不同，一般情况下，可分为三种：铁素体、珠光体+铁素体、珠光体。

(3) 各种铸铁的显微组织特征。

灰口铸铁：石墨呈粗片状析出，如图 4.5 所示。

球墨铸铁：在铁水中加入球化剂，浇注后石墨呈球状析出，如图 4.6 所示。球状石墨的存在可使铸铁内部的应力集中现象得到改善，同时减轻了对基体的割裂作用，从而充分地发挥了基体性能的潜力，使球墨铸铁获得很高的强度和一定的韧性。

可锻铸铁：将白口铸铁可锻化退火，使石墨呈团絮状析出，如图 4.7 所示。

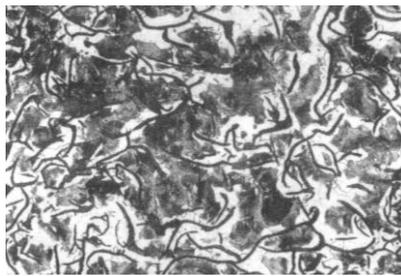


图 4.5 F+P 基体灰口铸铁组织

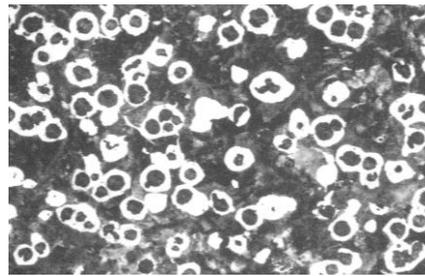


图 4.6 P+F 基体球墨铸铁组织

## 3、几种常用有色金属的显微组织

(1) 铝合金。铝合金应用十分广泛，分为形变铝合金和铸造铝合金。

铝硅合金是广泛应用的一种铸造铝合金，俗称硅铝明，含 11%~13%的 Si。从 Al-Si 合金相图可知，硅铝明的成分接近共晶成分，铸造性能好，铸造后得到的组织是粗大的针状硅和  $\alpha$  固溶体组成的共晶体 (图 4.8)。硅本身极脆，又呈针状分布，因此极大地降低了合金的塑性和韧性。为了改善合金质量，可进行“变质处理”。即在浇注时，往液体合金中加入 2%~3%的变质剂 (常用钠盐混合物： $2/3\text{NaF}+1/3\text{NaCl}$ )，可使铸造合金的显微组织显著细化。变质处理后得到的组织已不是单纯的共晶组织，而是细小的共晶组织加上初晶  $\alpha$  相，即亚共晶

组织，如图 4.9 所示。

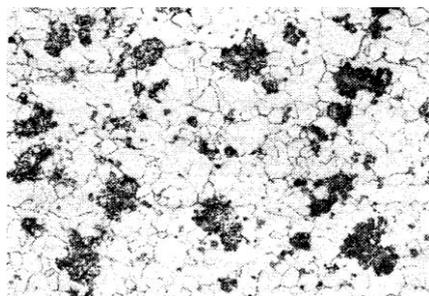


图 4.7 F 基体可锻铸铁组织

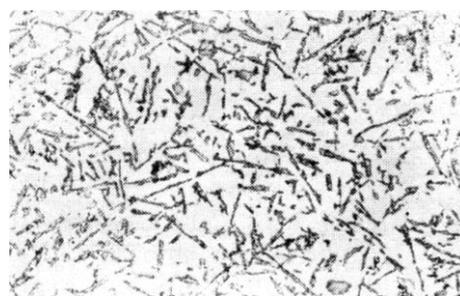


图 4.8 未变质处理的硅铝明合金组织

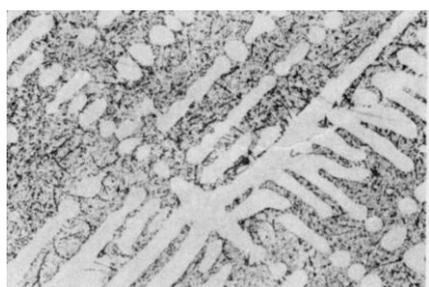


图 4.9 经变质处理后硅铝明合金组织

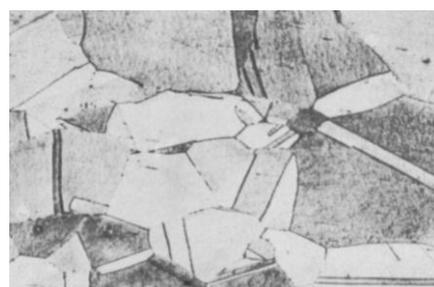


图 4.10 单相黄铜的组织

(2) 铜合金。最常用的铜合金为黄铜（Cu-Zn 合金）及青铜（Cu-Sn 合金）。

根据 Cu-Zn 合金相图，含 39% 以下 Zn 的黄铜，其显微组织为单相 $\alpha$  固溶体，故称单相黄铜，其塑性好，可制造深冲变形零件。常用单相黄铜为含 30% 左右 Zn 的 H70 黄铜，在铸态下因晶内偏析经腐蚀后呈树枝状，变形并退火后则得到多边形的具有退火孪晶特征的 $\alpha$  晶粒，如图 4.10 所示，因各个晶粒位向不同，所以具有不同深浅颜色。

含 39%~45% Zn 的黄铜，其组织为 $\alpha + \beta'$  ( $\beta'$  是 CuZn 为基的有序固溶体)，故称双相黄铜。在低温时性能硬而脆，但在高温时有较好的塑性，适于热加工，可用于承受大载荷的零件，常用的双相黄铜为 H62，其铸态组织经三氯化铁盐酸水溶液浸蚀后， $\alpha$  晶粒呈亮白色， $\beta'$  晶粒呈暗黑色，如图 4.11 所示。

(3) 轴承合金。巴氏合金是滑动轴承合金中应用较多的一种。锡基巴氏合金中含 83% Sn、11% Sb、6% Cu。其显微组织是在软的 $\alpha$  固溶体的基体上分布着方块状 $\beta'$ （以化合物 SnSb 为基的有序固溶体）硬质点及白色星状或放射状的  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ，如图 4.12 所示。

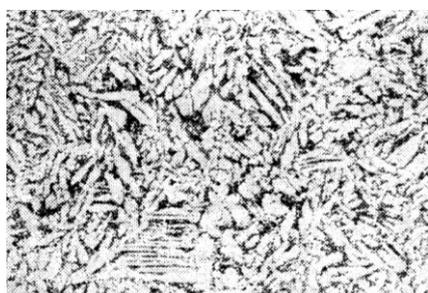


图 4.11 双相黄铜组织

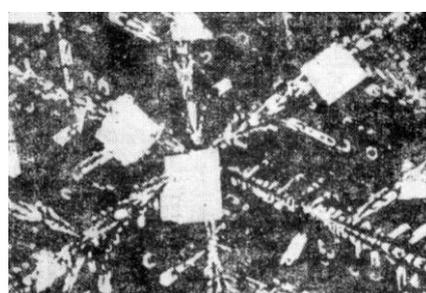


图 4.12 ZChSnSb11-6 合金组织

### 三、实验设备及材料

- 1、金相显微镜；
- 2、各类合金材料的金相显微试样（表 4.1）。

### 四、实验内容及步骤

- 1、领取各种类型合金材料的金相试样（表 4.1），在显微镜下进行观察，并分析其组织形态特征。
- 2、观察各类成分的合金要结合相图和热处理条件来分析应该具有的组织，着重区别各自的组织形态特点。
- 3、认识组织特征之后，再画出所观察试样的显微组织图。画组织图时应抓住组织形态的特点，画出典型区域的组织。

表 4.1 常用金属材料显微样品

序号	材料	处理状态	显微组织	浸蚀剂
1	GCr15	840℃油淬，150℃回火	$M_{回}+K+A'$ 少	3%硝酸酒精溶液
2	W18Cr4V	1 260℃~1 280℃油淬	$M+K+A'$	3%硝酸酒精溶液
3	W18Cr4V	1 270℃油淬，560℃三次回火	$M_{回}+K+A'$ 少	3%硝酸酒精溶液
4	1Cr18Ni9	1050~1100℃水冷	单相 A	王水溶液
5	灰铸铁	铸造状态	$F+P+C$ 片	3%硝酸酒精溶液
6	可锻铸铁	可锻化退火	$F+C$ 团	3%硝酸酒精溶液
7	球墨铸铁	正火	$F+P+C$ 球	3%硝酸酒精溶液
8	硅铝明 (ZL102)	铸态(未变质处理)	$\alpha +Si$ 粗	0.5%氢氟酸水溶液
9	硅铝明 (ZL102)	铸态(变质处理)	$\alpha + (\alpha +Si)$ 细	0.5%氢氟酸水溶液
10	H70 黄铜	退火态	单相 $\alpha$	3%FeCl <sub>3</sub> +10%HCl 水溶液
11	锡基轴承合金	铸态	$\alpha +\beta' +Cu_6Sn_5$ (放射状)	3%硝酸酒精溶液

### 五、实验报告要求

- 1、写出实验目的。
- 2、画出所观察过的组织，并注明材料名称、处理状态、浸蚀剂和放大倍数。显微组织图画在直径为 40mm 的圆内，并将组织组成物名称以箭头引出标明。

## 实验五 金属的硬度与冲击

### 一、实验目的

- 1、了解布氏、洛氏硬度测定的基本原理和操作方法。
- 2、了解金属冲击功的测定方法。

### 二、实验原理

#### (一) 金属的硬度试验

金属的硬度可以认为是金属材料的表面在接触应力作用下抵抗局部塑性变形的能力。硬度值越高，表明金属抵抗局部塑性变形的能力越大，材料产生塑性变形就越困难。同时，硬度与其它机械性能（如抗拉强度  $R_m$ ）之间有着一定的内在联系。

如硬度与强度指标之间存在如下近似关系：

$$R_m = K \cdot HB$$

式中  $R_m$ ——材料的抗拉强度；

$K$ ——系数；

$HB$ ——布氏硬度。

退火状态的碳钢： $K=0.34\sim 0.36$

合金调质钢： $K=0.33\sim 0.35$

有色金属合金： $K=0.33\sim 0.53$

所以，从某种意义上说，硬度的大小对机械零件或工具的使用寿命具有决定性意义。

硬度试验的方法很多，在机械工业中广泛采用压入法来测定金属的硬度，压入法又可分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。以下仅介绍布氏硬度和洛氏硬度。

#### 1、布氏硬度

布氏硬度的试验原理是施加一定大小的载荷  $P$ ，将直径为  $D$  的合金球压入被测金属表面（如图 5.1），并保持一定时间，然后卸除载荷，根据合金球在金属表面上所压出的凹痕面积  $F_{凹}$ ，求出平均应力值，以此作为硬度值的计量指标，并用符号  $HB$  表示。

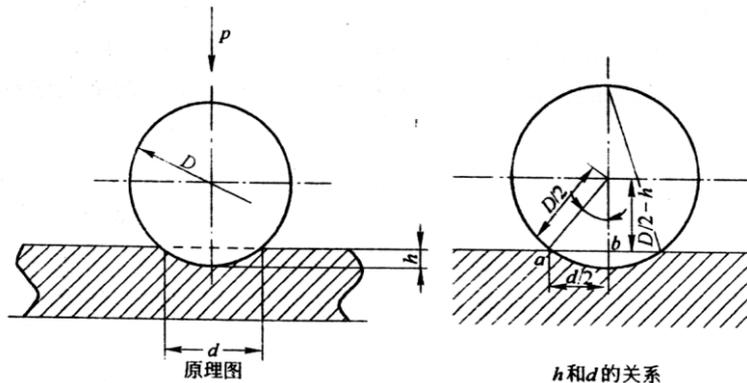


图 5.1 布氏硬度的试验原理

其计算公式如下：

$$HB = P / F_{凹} \quad (5-1)$$

式中  $HB$ ——布氏硬度；

$P$ ——施加外力，kg；

$F_{凹}$ ——压痕面积， $mm^2$ 。

根据压痕面积和球面之比等于压痕深度  $h$  和钢球直径之比的几何关系,可知压痕部分的球面积为:

$$F_{\text{球}} = \pi Dh \quad (5-2)$$

式中  $D$ ——钢球直径, mm;

$h$ ——压痕深度, mm。

由于测量压痕直径  $d$  要比测定压痕深度  $h$  容易,故可将式(5-2)中的  $h$  改换成  $d$  来表示,这样可以根据几何关系求出:

当试验力  $P$  的单位为 kgf 时:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (5-3)$$

当试验力  $P$  的单位是 N 时:

$$HB = \frac{0.102P}{F} = \frac{0.204P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (5-4)$$

故只需测出压痕直径  $d$ , 根据已知  $D$  和  $P$  值就可以计算出  $HB$  值,在实际测量时,可由压痕直径  $d$  直接查表得到  $HB$  值。

由于金属材料有硬有软,所测工件有厚有薄,若只采用同一种载荷,如 3000Kg(29400N)和同一个合金球直径(如  $D=10\text{mm}$ )时,则对有些试样合适,而对另一些试样可能不合适,会发生整个合金球陷入金属中的现象;若对于厚的试样合适,而对于薄的试样会出现压透的可能。所以在测定不同材料的布氏硬度时要求有不同载荷  $P$  和不同直径  $D$  的合金球。为了得到统一的、可以进行相互比较的数值,必须使  $D$  和  $P$  之间保持某一比值关系,即  $P/D^2$  应保持为一定值。这样,对同一材料而言,不论采用何种大小的载荷和合金球直径,只要能满足  $P/D^2=\text{常数}$ ,所得到的  $HB$  值便一样。对不同的材料来说,得到的  $HB$  值也可以进行比较。按照国家标准(GB231)规定,  $P/D^2$  比值有 30、15、10、5、2.5 和 1 六种,其试验规范可参照表 5-1。

表 5-1 布氏硬度试验规范

材料	布氏硬度范围	$F/D^2$	材料	布氏硬度范围	$F/D^2$
钢、镍合金、钛合金		30	轻金属及合金	<35	2.5
铸铁	<140 ≥140	10 30		35~80 >80	5, 10, 15 10, 15
铜及铜合金	<35 35~200 >200	5 10 30	铅、锡		1

### 几点说明:

- (1) 通常布氏硬度值不标出单位。
- (2) 试验力保持时间通常为 10~15s。
- (3) 布氏硬度的符号用 HBW (压头为硬质合金球) 表示, 符号 HBW 之前书写硬度值, 符号后面按下列顺序用数值表示试验条件: 球体直径/试验力 (以 kgf) /试验力保持时间 (10~15s 不标注)。例如, 500HBW5/750 即表示用直径为 5mm 的硬质合金球在 750kgf (7.355kN) 试验力作用下, 保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500。
- (4) 压痕中心距试样边缘的距离不小于压痕直径的 2.5 倍, 相邻压痕中心的距离不小于压痕直径的 3 倍。
- (5) 压痕直径应从相互垂直的两个方向测量, 并取其算术平均值。

### 2、洛氏硬度

洛氏硬度试验常用的压头为圆锥角 $\alpha = 120^\circ$ 、顶部曲率半径为 0.2mm 的金刚石圆锥体或直径  $D=1.588\text{mm}$  的淬火钢球。试验时 (图 5.2), 先对试样施加初始试验力  $F_0$ , 在金属表面得一压痕深度  $h_1$ , 以此作为测量压痕深度的基线。随后再加上主试验力  $F_1$ , 此时压痕深度的增量为  $h_2-h_1$ 。金属在  $F_1$  作用下产生的总变形中包括弹性变形和塑性变形。当将  $F_1$  卸除后, 总变形中的弹性变形恢复, 使压头回升一段距离。于是得到金属在  $F_0$  作用下的残余压痕深度  $h$  (将此压痕深度  $h$  表示成  $e$ , 其值以 0.002mm 为单位表示)。 $e$  值愈大表明金属洛氏硬度愈低; 反之, 则表明硬度愈高。为了照顾习惯上数值愈大硬度愈高的概念, 故用一个常数  $k$  减去  $e$  来表示洛氏硬度值, 并以符号 HR 表示, 即

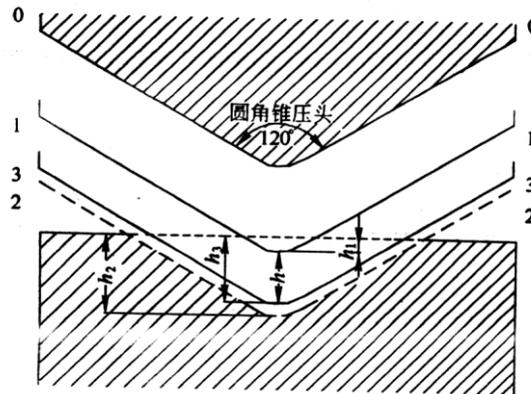


图 5.2 洛氏硬度试验原理

$$HR=k-e \quad (5-5)$$

当使用金刚石圆锥体压头时, 常数  $k$  为 100; 当使用淬火钢球压头时, 常数  $k$  为 130。

实际测定洛氏硬度时, 由于在硬度计的压头上方装有百分表, 可直接测出压痕深度, 并按式 (5-5) 换算出相应的硬度值。因此, 在试验过程中金属的洛氏硬度值可直接读出。

为了测定软硬不同的金属材料的硬度, 在洛氏硬度计上可选配不同的压头与试验力, 组合成几种不同的硬度标尺。每一种标尺用一个字母在 HR 后注明。我国最常用的标尺有 A、B、C 三种, 其硬度值的符号分别用 HRA、HRB、HRC 表示。它们的试验条件、硬度值计算公式及应用实例如表 5-2 所示。

表 5-2 洛氏硬度试验规范

标尺	压头类型	初试验力 /kgf(N)	主试验力 /kgf(N)	硬度值计算公式	硬度值测量范围	应用实例
HRA	金刚石圆锥体	10(98)	50(490)	HRC=100-e	20~88	高硬度的薄件、表面处理钢件、硬质合金等
HRC			140(1372)	HRC=100-e	20~70	硬度大于 100HRB 的淬火及回火钢、钛合金等
HRB	Φ 1.588mm 淬火钢球		90(882)	HRB=130-e	20~100	铜合金、铝合金、退火钢材、可锻铸铁等

**几点说明:**

- (1) 洛氏硬度值写在其符号之前，如 59.5HRC 表示用 C 标尺测得的洛氏硬度值为 59.5。
- (2) 总试验力保持时间为  $4s \pm 2s$ 。
- (3) 两个相邻压痕中心之间的距离至少应为压痕直径的 4 倍，且  $\geq 2mm$ ；任一压痕中心距试样边缘的距离至少应为压痕直径的 2.5 倍，且  $\geq 1mm$ 。
- (4) 洛氏硬度值至少应精确至 0.5HR。

**(二) 金属的冲击试验**

冲击试验是一种动态力学性能试验，它是将一定形状尺寸的试样放置在冲击试验机的固定支座上，然后将具有定位能的摆锤释放，使试样在冲击弯曲负荷作用下断裂，如图 5.3。

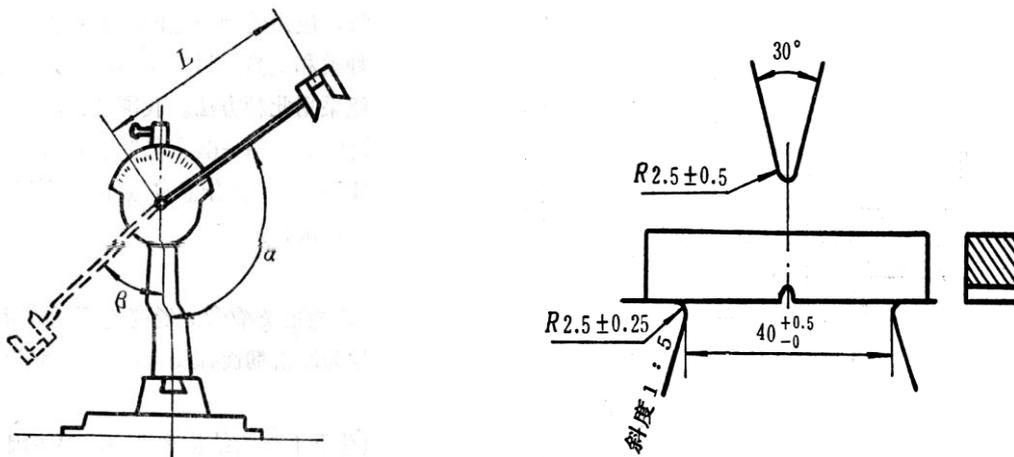


图 5.3 冲击试验原理图

常用标准试样的冲击吸收功（试样断裂所消耗的能量） $A_K$  表示。单位为焦耳（J）。

金属在常温下的冲击试验较为简便易行，其冲击功的大小对材料的冶金质量、宏观缺陷、显微组织等十分敏感。因此，生产上广泛采用这种试验方法来检验材料的质量，如晶粒粗细、回火脆性、过热、过烧、内部裂纹、白点、夹杂、显微组织的各向异性等，并常用这种方法确定低碳钢材的应变时效敏感性。

根据国家标准 GB/T229-1994 的规定，冲击试验可使用夏比 U 形缺口（其冲击功表示为  $A_{KU}$ ）和夏比 V 形缺口（其冲击功表示为  $A_{KV}$ ）试样。试样外形尺寸均为  $10mm \times 10mm \times 55mm$ ，缺口深度为 2mm，其尺寸要求及表面粗糙度要求如图 5.4 所示。当坯料尺寸无法满足  $10 \times 10 \times 55mm$  的要求时，可加工成  $7.5mm \times 10mm \times 55mm$  或  $5mm \times 10mm \times 55mm$  小尺寸的辅助试样，此时缺口应开在试样的窄面上。

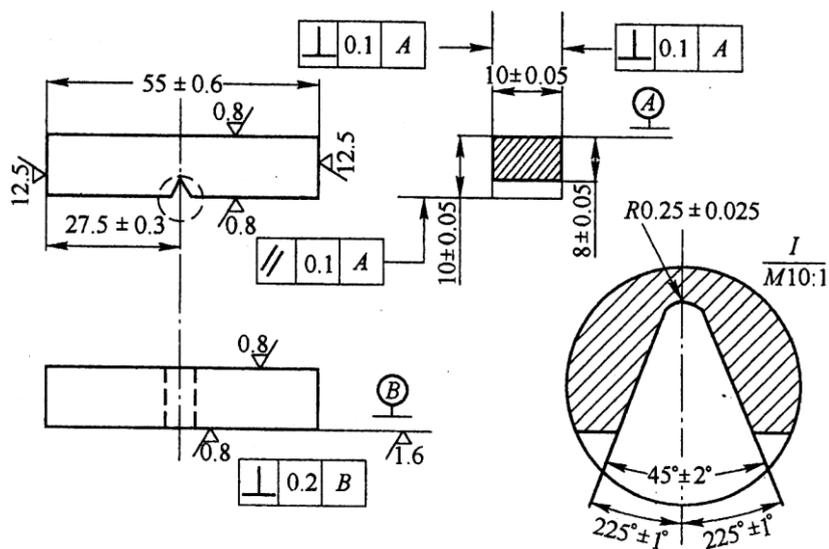


图 5.4 夏比 V 形缺口冲击试样

由于冲击试样的尺寸及缺口形状对冲击试验的结果影响非常大，所以不同形式试样的冲击功之间不能相互对比，也不能互换。在冲击试验报告中必须注明试样缺口形状及尺寸。

### 三、实验设备及材料

- 1、硬度计。布氏、洛氏硬度计若干台。
- 2、读数显微镜。最小分度值为 0.01mm。
- 3、冲击试验机。
- 4、不同含碳量的碳钢试样一组（正火状态）。
- 5、冲击试样若干。

### 四、实验内容及步骤

- 1、了解布氏和洛氏硬度计的使用方法、操作规程和 safety 注意事项。
- 2、选择合适的试验方法和仪器，确定实验条件（选择压头、载荷等），测定不同含碳量的一组碳钢试样（正火状态）的硬度。
- 3、对实验室所提供的冲击样品进行冲击功测定。

### 五、实验报告要求

- 1、写出实验目的并简述实验原理。
- 2、记录试验过程中的原始数据。
- 3、绘制含碳量与硬度之间的关系曲线。

### 六、参考资料

- 1、GB/T231.1-2002 金属布氏硬度试验方法；
- 2、GB/T230.1-2004 金属洛氏硬度试验方法；
- 3、GB/T229-1994 金属夏比缺口冲击试验方法

## 实验六 碳钢的热处理

### 一、实验目的

- 1、熟悉碳钢的一般热处理（退火、正火、淬火及回火）方法。
- 2、了解含碳量、加热温度、冷却速度及回火温度等主要因素对碳钢性能（硬度和冲击功）的影响。

### 二、实验原理

热处理是一种重要的金属加工工艺方法，通过热处理可以改善钢的工艺性能和机械性能，从而达到节约材料，降低成本和提高工件使用寿命等目的。

按照对工件的性能要求，碳钢可进行各种形式的热处理，其基本的工艺方法可分为退火、正火、淬火和回火等。

#### （一）钢的退火和正火

钢的退火是将钢加热到临界温度  $A_{C1}$  或  $A_{C3}$  以上  $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，保温一段时间后缓慢地随炉冷却的处理方法。

钢的正火是将钢加热到  $A_{C3}$  或  $A_{CCm}$  以上  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温一段时间后，进行空冷。与退火组织相比，组织中的珠光体相对较多，且片层较细密，所以性能有所改善，对低碳钢来说，正火后提高硬度可改善切削加工性能，提高零件表面光洁度；对高碳钢，正火则可消除网状渗碳体，为下一步球化退火及淬火作准备。

退火和正火的加热温度范围见图 6-1。

#### （二）钢的淬火

钢的淬火就是将钢加热到  $A_{C3}$  或  $A_{C1}$  以上  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，保温后放入水中或油中快速冷却，以获得马氏体组织。低碳钢淬火后的组织为板条马氏体，高碳钢淬火后的组织由针状马氏体和残留奥氏体组成。

为了正确地进行钢的淬火，必须考虑下列三个重要因素；淬火加热温度、保温时间和冷却速度。

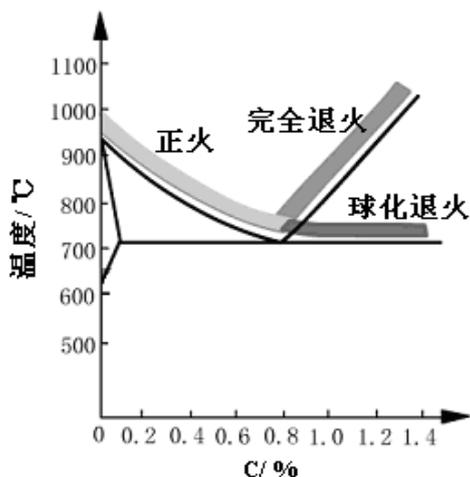


图 6-1 退火和正火的加热温度范围

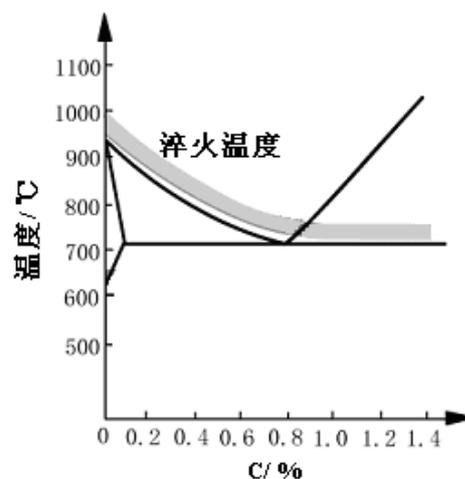


图 6-2 淬火的加热温度范围

### 1、淬火温度的选择

正确选择加热温度是保证淬火质量的重要一环。淬火时的具体加热温度主要取决于钢的含碳量，可根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图确定（如图 6-2 所示）。对亚共析钢，其加热温度为 A<sub>C3</sub>+30~50℃，若加热温度不足（低于 A<sub>C3</sub>），则淬火组织中将出现铁素体而造成强度及硬度的降低。对过共析钢，加热温度为 A<sub>C1</sub>+30~50℃，淬火后可得到细小的马氏体与粒状渗碳体，后者的存在可提高钢的强度和耐磨性。过高的加热温度（如超过 A<sub>cm</sub>）不仅无助于强度、硬度的增加，反而会由于产生过多的残余奥氏体而导致硬度和耐磨性的下降。

需要指出，不论在退火、正火及淬火时，均不能任意提高加热温度。温度过高晶粒容易长大，而且增加氧化脱碳和变形的倾向。各种不同成分碳钢的临界温度列表 6-1 中。

表 6-1 各种碳钢的临界温度（近似值）

类别	钢号	临界温度（℃）			
		A <sub>C1</sub>	A <sub>C3</sub> 或 A <sub>ccm</sub>	A <sub>r1</sub>	A <sub>r3</sub>
碳素结构钢	20	735	855	680	835
	30	732	813	677	835
	40	724	790	680	796
	45	724	780	682	760
	50	725	760	690	750
	60	727	766	695	721
碳素工具钢	T7	730	770	700	713
	T8	730	—	700	—
	T10	730	800	700	—
	T12	730	820	700	—
	T13	730	830	700	—

### 2、保温时间的确定

为了使工件各部分温度均匀化，完成组织转变，并使碳化物完全溶解和奥氏体成分均匀一致，必须在淬火加热温度下保温一定时间。通常将工件升温 and 保温所需要的时间计算在一起，并统称为加热时间，加热时间与钢的成分、工件的形状尺寸、所用的加热介质及加热方法等因素有关。一般按照经验公式加以估算，碳钢在箱式电炉中加热时间的计算列于表 6-2。

表 6-2 加热时间的确定

加热温度 （℃）	工件形状		
	圆柱形	方形	板型
	保温时间		
	分钟/每毫米直径	分钟/每毫米厚度	分钟/每毫米厚度
700	1.5	2.2	3
800	1.0	1.5	2
900	0.8	1.2	1.6
1000	0.4	0.6	0.8

### 3、冷却速度的影响

淬火的冷却非常重要，它直接影响到钢淬火后的组织和性能。冷却时应使冷却速度大于临界冷却速度，以保证获得马氏体组织，在这个前提下又应尽量缓慢冷却，以减小内应力，防止变形和开裂。为此可根据 C 曲线图（如图 6-3 所示），使淬火工件在过冷奥氏体最不稳定的温度范围（650~550℃）进行快冷，超过临界冷却速度，而在较低温度（300~100℃）

时的冷却速度则尽可能小些。

为了保证淬火效果，应选用适当的冷却介质（如水、油等）和冷却方法（如双液淬火、分级淬火等）。不同的冷却介质在不同的温度范围内冷却能力有所差别。各种冷却介质的特性见表 6-3。

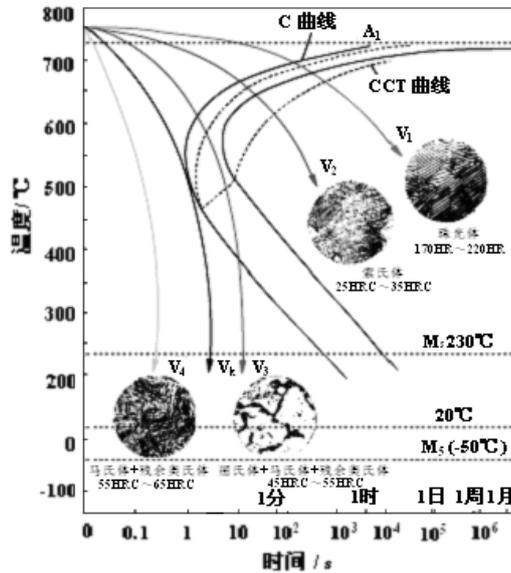


图 6-3 在共析钢 C 曲线上估计连续冷却速度的影响

### (三) 钢的回火

钢淬火后必须进行回火处理。回火温度取决于最终所要求的组织和性能（工厂中常根据硬度的要求）。回火温度可分为低温、中温、高温三类。

表 6-4 为 45 钢经淬火及不同温度回火后的组织和性能。

回火保温时间与工件材料尺寸、工艺条件等因素有关，通常采用 1~3 小时。由于实验所用试样较小故回火保温时间为 30 分钟，回火后在空气中冷却。

表 6-3 几种常用淬火介质的冷却能力

冷却介质	在下列温度范围内的冷却速度 (°C/秒)	
	650~550°C	300~200°C
18°C 的水	600	270
26°C 的水	500	270
50°C 的水	100	270
74°C 的水	30	200
10%NaCl 水溶液 (18°C)	1100	300
10%NaOH 水溶液 (18°C)	1200	300
10%Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 水溶液 (18°C)	800	270
蒸馏水	250	200
肥皂水	30	200
菜籽油 (50°C)	200	35
矿物机器油 (50°C)	150	30
变压器油 (50°C)	120	25

表 6-4 45 钢经淬火及不同温度回火后的组织和性能

类型	回火温度 (°C)	回火后的组织	回火后硬度 (HRC)	性能特点
低温回火	150~250	回火马氏体+残余奥氏体+碳化物	57~60	高硬度，内应力减小
中温回火	350~500	回火屈氏体	35~45	硬度适中，有高的弹性
高温回火	500~650	回火索氏体	20~33	具有良好塑性、韧性和一定强度相配合的综合性能

### 三、实验设备与材料

- 1、箱式电阻炉及烘箱；
- 2、水银温度计；
- 3、洛氏硬度计，冲击试验机；
- 4、冷却介质：水，油（使用温度约 20°C）；
- 5、圆试样：20 钢、45 钢和 T12 钢，冲击试样：45 钢。

### 四、实验内容及步骤

- 1、按表 6-5 所列工艺条件进行各种热处理操作。
- 2、测定热处理后的全部圆形试样的硬度，测定热处理后的冲击试样的冲击功，并将数据填入表内。

### 五、实验报告要求

- 1、简述实验目的、实验原理与实验方法。
- 2、用图表形式将实验数据整理、归纳，并进行分析讨论。

### 六、注意事项

- 1、为防止试样加热时的氧化脱碳，在淬火加热前试样表面应覆盖木炭或铸铁屑。
- 2、本实验加热装置均为电炉，由于炉内电阻丝部分敞开，在放、取试样时必须先切断电源。
- 3、往炉中放、取试样时必须使用夹钳，夹钳必须擦干，不得沾有油和水。开关炉门时防止烫伤，炉门打开时间不宜过长。
- 4、试样由炉中取出时，动作要迅速，以免温度下降，影响淬火质量。
- 5、淬火时水温度应保持 20~30°C 左右，水温过高要及时换水。
- 6、淬火或回火的试样均要用砂纸打磨二个对应表面，去掉氧化脱碳层后再测定硬度。

### 七、参考资料

- 1、杜树昌. 热处理试验[M].北京：机械工业出版社，1994.
- 2、教材

表 6-5 实验任务表

序号	钢号	热处理	HRC		常温冲击功 A <sub>KV</sub> (J)		组织
			测试值	平均值	测试值	平均值	
1	T12	780℃水淬			—	—	
2	45	860℃水淬					
3	20	920℃水淬			—	—	
4	45	750℃水淬			—	—	
5	45	920℃水淬			—	—	
6	45	860℃油淬			—	—	
7	45	860℃空冷			—	—	
8	45	860℃水淬 200℃回火					
9	45	860℃水淬 400℃回火					
10	45	860℃水淬 600℃回火					

## 实验七 金属材料综合实验

### 一、实验目的

- 1、通过完全开放的实验模式，充分发挥学生的自主创新能力，注重灵活运用专业知识能力的培养。
- 2、灵活掌握现代分析测试技术（数码采集、图像分析软件、计算机模拟仿真、电子版报告等）。

### 二、实验原理

本实验分为若干个专题，没有设定现成的实验过程与方法，各专题所依据的实验原理必须通过实验者本人按实验要求去进行检索、查阅。

### 三、实验设备与材料

- 1、可供选择的仪器设备
  - ① 各类制样设备，各类化学药品等耗材
  - ② 各类显微镜
  - ③ 各类硬度计、试验机
  - ④ 各类热处理炉：高温炉（1000~1250℃）、中温炉（300~1000℃）、烘箱（室温~300℃）、硝盐炉（150~550℃）。
- 2、可供选择的原材料  
工业纯铁、20、20G、HRB335、Q235、Q345、45、T8、T12、40Cr、65Mn、GCr15、12Cr1MoV、35CrMo、5CrNiMo、CrWMn、6542、3Cr2W8V、Cr12MoV、2Cr13、3Cr13、1Cr18Ni9Ti、1Cr17Ni7、Cr25Ni20、ZG20CrMo、T22(10CrMo910)等。

### 四、综合实验的内容及要求

#### 1、实验安排

本实验设立了近 20 个专题，每个专题由 2~3 人完成，一般按自由结合或抽签方式完成分组，分组确定后按各自的实验目标进行文献查阅，拟定试验方案，形成实验预习报告并经指导老师确认后进入开放实验室进行试验。

试验时间的具体安排由各组向实验室预约，一般应在二周内完成试验任务，个别专题可能难度较大、反复较多，可放宽至三周内完成，在各组完成实验总结并形成报告（PPT 格式）后，进行全班集中汇报、讨论。

#### 2、实验预习报告要求

- ① 简述实验目的及实验原理
- ② 实验步骤及工艺参数(包括热处理温度、保温时间、冷却方式等)
- ③ 可能选用的设备及原材料
- ④ 金相组织侵蚀剂的选择

#### 3、部分候选专题

- 1<sup>#</sup> 制备粗大针状马氏体组织的金相样品(黑针及白针)，自选材料及工艺。(\*)
- 2<sup>#</sup> 制备含上贝氏体组织的金相样品，自选材料及工艺。(\*\*\*)
- 3<sup>#</sup> 制备含下贝氏体组织的金相样品，自选材料及工艺。(\*)
- 4<sup>#</sup> 钢板中魏氏组织的分析与改善。(\*)
- 5<sup>#</sup> 钢管中带状组织的改善或消除。(20G)(\*)
- 6<sup>#</sup> 合金铸钢(主汽门套盖)中魏氏组织的改善或消除。(ZG20CrMo)(\*\*)

- 7<sup>#</sup> 无磁不锈钢(对焊三通)的磁性消除。(1Cr18Ni9Ti) (\*)
- 8<sup>#</sup> 不锈钢板的组织与性能改善。(1Cr17Ni7) (\*\*)
- 9<sup>#</sup> 锅炉管的组织状态鉴别。(T22) (\*\*)
- 10<sup>#</sup> 铝线夹的断裂原因分析。 (\*\*\*)
- 11<sup>#</sup> 锅炉高温悬吊管爆管原因分析。(20G) (\*\*)
- 12<sup>#</sup> 不锈钢螺栓的断裂原因分析。 (\*\*)
- 13<sup>#</sup> 钢板冷弯开裂原因的分析 (\*\*\*)
- 14<sup>#</sup> 45<sup>#</sup>钢圆( $\Phi 18 \times 5$ ), 要求硬度达到 HRC 55~60 及 HRC 28~32, 含各阶段的组织分析。
- 15<sup>#</sup> T12 钢圆( $\Phi 16 \times 5$ ), 要求硬度达到 HRC 62~66 及 HRC 58~62, 含各阶段的组织分析。
- 16<sup>#</sup> 球铁及灰铁的组织评定。
- 17<sup>#</sup> 6542 高速钢的性能改善 (\*\*\*)
- 上述各项目注有不同数量的“\*”号, “\*”越多, 表示难度越大。

## 五、实验报告要求(电子版)

- 1、简述实验目的、原理、实验方法、设备及材料
- 2、实验结果(处理前后的组织图片, 均采用数码采集)
- 3、分析讨论(包括对缺陷组织的评价, 热处理前后的组织与性能变化规律等)
- 4、参考文献
- 5、建议

## 六、注意事项

- 1、实验室在三周中对实验学生重点支持, 实行 24 小时完全开放的管理模式, 双休日也可安排进行试验。使用热处理炉及大型设备, 应提前半天向实验室预约。热处理炉、显微镜及大型设备均应填写使用记录。
- 2、安全有序开放。开始实验前进行一次集中安全教育。

## 七、参考资料

- 1、戚正风. 热处理原理. 机械工业出版社, 1986
- 2、刘永铨. 钢的热处理. 机械工业出版社, 1986.8
- 3、王笑天. 金属材料学. 机械工业出版社, 1986.6
- 4、崔崑. 钢铁材料及有色金属材料. 机械工业出版社, 1980.4
- 5、胡志忠. 钢及其热处理曲线手册. 国防工业出版社, 1986.6
- 6、杜树昌. 热处理实验. 机械工业出版社, 1994.5
- 7、梅建平等. 金属材料专业方向大型室验. 东南大学讲义, 2007.6
- 8、实验室收藏的各类金相组织图谱等, 校图书馆资料, 网上资源。

附录 I 常用金属材料的浸蚀剂

	序号	浸蚀剂名称	成分	作用与使用特点
铸铁和钢	1	硝酸酒精溶液	HNO <sub>3</sub> 1~5ml C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 100 ml	显示一般组织
	2	苦味酸酒精溶液	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH 4g C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 100ml	显示一般组织，作用较缓。
	3	氯化高铁盐酸酒精溶液	FeCl <sub>3</sub> 5g HCl 2ml C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 95ml	显示奥氏体钢组织。
	4	硝酸盐酸甘油溶液	HNO <sub>3</sub> 1份 HCl 2份 甘油 3份	显示奥氏体不锈钢中δ-Fe。
	5	硝酸盐酸水溶液	HNO <sub>3</sub> 10% HCl 10% H <sub>2</sub> O 80%	显示奥氏体钢组织。
	6	荷性苦味酸钠水溶液	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH 2g NaOH 25g H <sub>2</sub> O 100ml	铸铁磷共晶中碳化物着色（热浸蚀）。
铝及铝合金	7	混合酸溶液	HF 1ml HCl 1.5ml HNO <sub>3</sub> 2.5ml H <sub>2</sub> O 95ml	适用于形变铝合金组织的显现。
	8	氢氟酸水溶液	HF 0.5ml H <sub>2</sub> O 99.5ml	适用于铸铝合金组织的显现。
	9	氢氧化钠水溶液	NaOH 10g H <sub>2</sub> O 100ml	适用于显现铸造铝合金的树枝状组织特殊相（热浸蚀）。
铜及铜合金	10	氯化高铁盐酸水溶液	FeCl <sub>3</sub> 5g HCl 10ml H <sub>2</sub> O 100ml	使用于铜合金组织的显现。
	11	氯化高铁盐酸酒精溶液	FeCl <sub>3</sub> 5g HCl 2ml C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 95ml	作用同上，腐蚀较缓和。
	12	氢氧化铵—双氧水混合溶液	NH <sub>4</sub> OH 40ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 10ml	适用铸造铜合金组织的显现。
镁及镁合金	13	硝酸酒精溶液	HNO <sub>3</sub> 2~10ml C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 100ml	擦蚀
	14	醋酸水溶液	CH <sub>3</sub> COOH 20ml HNO <sub>3</sub> 1ml 蒸馏水 19ml	显示锍偏析作用与硝酸酒精相反。
低熔点合金	15	硝酸酒精溶液	HNO <sub>3</sub> 1~5ml C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 100ml	显示低熔点合金一般组织。
	16	氯化高铁盐酸酒精溶液	FeCl <sub>3</sub> 5g HCl 2ml C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 95ml	一般组织显示，但作用较强烈。