

# 目 录

1、金相显微镜构造及使用（2学时）	3
2、金相试样的制备（2学时）	7
3、铁碳平衡组织观察（2学时）	10
4、显微硬度的测定与数码显微摄影（2学时）	14
5、金属的塑性变形与再结晶（3学时）	21
6、钢的奥氏体晶粒度的测定（3学时）	24
7、淬火钢中马氏体形态观察（3学时）	28
8、合金的流动性及其测定（2学时）	30
9、典型铸锭组织分析（2学时）	33
10、典型焊接接头显微组织观察（2学时）	35
11、冲压模具的结构分析与拆装（2学时）	38
12、钢的淬透性测定（2学时）	41
13、钢的热处理及热处理后的显微组织与性能（4学时）	43
14、渗碳目的及渗碳后组织观察（2学时）	49
15、一次摆锤冲击弯曲试验（2学时）	51
16、断裂韧性 K <sub>1C</sub> 的测定（4学时）	55
17、硬度的测定（2学时）	59
18、低碳钢的静拉伸实验（2学时）	63
19、X射线晶体分析仪介绍及单相立方晶系物质粉末相计算（2学时）	67
20、利用X射线衍射仪进行多相物质的相分析（2学时）	69
21、透射电子显微镜的结构、样品制备及观察（2学时）	72
22、扫描电子显微镜、电子探针仪结构与样品分析（2学时）	75
23、常用结构钢组织观察（2学时）	77
24、常用铸铁不同状态组织观察与分析（2学时）	81
25、齿轮钢和轴承钢金相组织观察（2学时）	83
26、工具钢、模具钢在不同热处理状态下的显微组织（2学时）	86

27、	常用有色金属与特种合金的组织观察（2 学时）	95
28、	材料表面预处理综合实验(4 学时)	99
29、	金属高温氧化速度的测定（2 学时）	101
30、	电极电位和极化曲线测定（4 学时）	104
31、	动电位扫描测定不锈钢点蚀电位（2 学时）	108
32、	不锈钢表面电化学生成导电涂层的工艺实验（4 学时）	111
33、	金属材料热处理综合实验	115
34、	附录 1 电化学试样的制备	120
35、	附录 2 HDV-7 型恒电位仪使用方法	121

## 实验 1、金相显微镜的构造及使用（2 学时）

### 一、 实验目的

- 1、 了解金相显微镜的基本原理和构造；
- 2、 掌握金相显微镜的使用方法；
- 3、 利用金相显微镜进行组织分析。

### 二、 概述

金相显微镜是一种专门用来观察金属和合金内部组织与缺陷的一种常用设备。将专门制作的金属和合金试样在金相显微镜下进行放大后观察、研究其内部组织结构及缺陷的方法称为金相分析法,其是一种常用的组织和缺陷分析方法。其可用来研究金属材料组织及其化学成分的关系;确定各类金属经不同的加工和热处理后的显微组织;鉴别金属材料质量的优劣等级等。

### 三、 金相显微镜的原理及应用

#### 1、 基本放大原理

如图 1-1 所示,图中有两平行凸透镜组成一个透镜组,物体 AB 经物镜(对着所观察物体的透镜)和目镜(对着眼睛的透镜)放大后在人眼中形成颠倒放大的物象 A''B''。显然显微镜的放大倍数(M)为:

$$M = M_{\text{物}} \cdot M_{\text{目}} = (L/f_{\text{物}}) \times (D/f_{\text{目}}) \approx 250L/(f_{\text{物}} \times f_{\text{目}})$$

式中:  $M_{\text{物}}$ : 物镜的放大倍数;  $M_{\text{目}}$ : 目镜的放大倍数;  $D$ : 人眼的明视距离;  $L$ : 镜筒的长度;  $f_{\text{物}}$ : 物镜的焦距;  $f_{\text{目}}$ : 目镜的焦距。

实际上,显微镜的放大倍数一般是通过物镜来保证的,,物镜的最高放大倍数可达 100 倍,

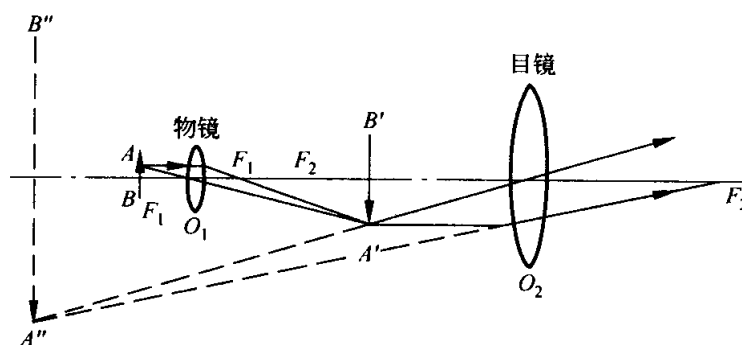
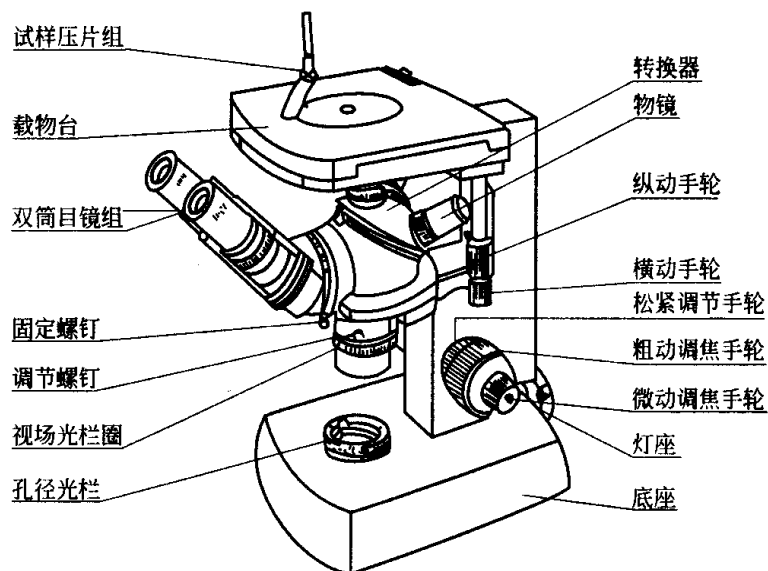


图 1-1 金相显微镜的光学原理示意图

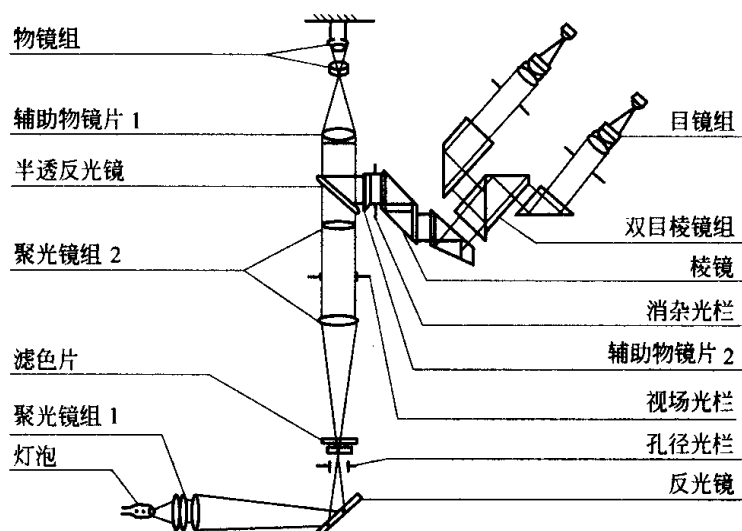
目镜的放大倍数可达 25 倍。显微镜的放大倍数一般用“×”表示,如物镜的放大倍数为 40×,而目镜的放大倍数为 10×,则显微镜的放大倍数为 250 倍,表示为 250×。

## 2、显微镜的构造

显微镜的种类很多，但最常见的为台式、立式和卧式三大类型。不论何中结构，其基本由光学系统、照明系统和机械系统三大部分组成。图 1-2 分别为 XJP-3A 型显微镜的光学系统和外观



(a) 结构图



(b) 光学系统图

图 1-2 XJP-3A 型双目金相显微镜

结构图。灯泡发出一束光线，经聚光透镜组 1 的会聚及反射镜的反射。将光线聚集在孔径光阑上，经聚光镜组 2 再度将光线聚集在物镜的后焦平面上，最后通过物镜用平行光使试样表面得到充分均匀的照明，从试样散射回来的成象光线再经物镜组、辅助透镜、半反射镜、辅助透镜及棱镜等

造成一个被观察的倒立的放大物象。经目镜的再次放大，观察者就能在目镜视场中看到试样表面最后的放大像。

XJP-3A 型显微镜的基本构造为：

- (1) 照明及光学系统：由装在底座内一低压灯泡、聚光镜、孔径光栏、反射镜、视场光栏和物镜、目镜等组成。它们的共同作用可产生符合要求的光线使试样表面得到充分均匀的照明并将从试样反射回来的光线送到观察者的眼中使观察者能够看到经放大后的试样表面的组织图象。
- (2) 调焦装置：显微镜的两侧有分粗调和细调手轮。旋转手轮可改变载物台的高度直至使目镜中看到的图象最清晰。
- (3) 载物台：用于放置试样。可用手在水平面内向方向推动以选择所需的观察视场。
- (4) 物镜转换器：呈球形，上有三个螺孔，可安装三个放大倍数不同的物镜。旋转物镜转换器可将不同的物镜切入光路与目镜配合得到不同的显微镜放大倍数。
- (5) 目镜筒：呈 45 度倾斜安装在附有棱镜的半球形座上，通过安装在目镜筒上的目镜观察试场。

### 3、金相显微镜的使用方法

- (1) 将金相显微镜光源插在变压器上，通过低压变压器接通电源。
- (2) 根据放大倍数选择所需的物镜和目镜，分别安装在物镜座上 and 目镜筒上，并使转换器旋转至固定位置。
- (3) 将试样放在样品台中心，使试样观察面朝下。
- (4) 转动粗调受轮使镜筒上升，同时用眼观察，使物镜尽可能接近试样表面然后相反转动手轮使镜筒逐渐下降。当视场亮度增强时再用细调手轮调节，直到物象清晰为止。
- (5) 适当调节孔径光栏和视场光栏以获得最佳质量的图象。
- (6) 用手轻轻推动载物台选择所需观察的视场。

### 4、注意事项

- (1) 小心操作使用，光学系统不能自行拆卸。
- (2) 显微镜镜头的玻璃部分和试样表面不能用手直接接触。镜头中若有灰尘可用镜头纸或软毛巾轻轻擦尽。
- (3) 显微镜的灯泡电源严禁直接接在 220 伏的电源插座上。
- (4) 旋转调焦手轮时动作要慢，碰到阻碍时不得强行转动。

## 四、实验方法指导

## 1、 实验内容及步骤

- (1) 首先弄清显微镜最基本的光学原理图；
- (2) 明确金相显微镜的构造及使用方法，要求学会利用机械系统来调整焦距和利用照明系统来调节和控制光线等。
- (3) 每人实际操作金相显微镜、观察金相样品、测定晶粒大小并画下显微组织示意图。

## 2、 实验所需设备及材料

- (1) XJB-1 型金相显微镜；
- (2) 金相样品若干。

## 五、 实验报告要求

- 1、 本次实验的目的；
- 2、 简述金相显微镜的基本原理和主要结构；
- 3、 扼要记述金相显微镜的使用方法及注意事项；
- 4、 画出所观察的显微组织示意图（注明放大倍数）。

## 实验 2、金相试样的制备（2 学时）

### 一、 实验目的

- 1、 学习金相试样的制备方法。
- 2、 了解金相显微组织的显示方法。

### 二、 概述

金相显微分析是研究金属材料组织的主要方法之一，是利用显微镜的光学原理借助试样表面对光线的反射特点来进行。为了对金相显微组织进行鉴别和研究，需要将所分析的金属材料制备成一定尺寸的试样，并经过磨制、抛光和腐蚀等工序，最后通过金相显微镜来观察和分析金属的显微组织状态及分布等。

### 三、 金相试样的制备方法

金相试样的制备主要包括取样、镶嵌、磨制抛光和腐蚀等步骤。

#### 1、 取样：

显微试样的选取用根据研究的目的选取具有代表性的部位。确定好部位后可采用各种机械手段将试样截下，但截取过程中不能使试样的温度升的过高而使组织发生变化，影响分析结果。

#### 2、 镶嵌：

对于尺寸过小的样品为便于磨制和观察在制备前应用试样镶嵌机将试样镶嵌在低熔点的合金或塑料中。

#### 3、 磨制：

- (1) 粗磨：较软的材料可用锉刀锉平，一般钢铁材料通常在砂轮机上磨平。打磨过程中要不断用水冷却以防止温度升高引起组织变化。如没有保留棱角的必要则一般可最后磨圆倒角以免在细磨时划破砂纸或抛光布。
- (2) 细磨：一般有手工和机械两种方法。手工磨时用手拿持试样按从粗到细的顺序在 01、02、03 直至 06 号金相砂纸上依次磨平。每更换一道砂纸时，应将试样的磨制方向调转 90 度（与上道的磨痕垂直），然后在新砂纸上将上道的磨痕磨去。

水磨时可采用在转盘上贴水砂纸的预磨机进行机械磨光。水砂纸粗细分依次有 200、300、400、直至 900 号，可按实际需要选取。每换一道砂纸时试样必须用水冲洗干净，并调换 90 度。

#### 4、 抛光：

经细磨后的试样需抛光以抛去磨痕获得光亮表面。机械抛光在专用的抛光机上进行。抛光机

的抛光盘上可根据需要选择不同材料的抛光布，抛光时在其上滴注抛光液（一般为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  和  $\text{MgO}$  等粉末在水中的悬浮液），将试样磨面均匀、平正地压在旋转的抛光盘上。压力不宜过大，并沿盘的边缘到中心反复做径向移动，直至将磨痕全部抛去为止。

电解抛光时将磨光后的试样浸入电解液中，接通试样（阳极）与阴极（不锈钢或铅板）之间的电源（直流）。当电流足够大时试样表面即产生溶解，靠近阳极的电解液在试样表面上形成一层厚度不均的薄膜。由于薄膜本身具有较大的电阻，并与厚度成正比，若试样表面高低不平、则突出部分薄膜的厚度比凹陷部分的薄膜厚度薄，突出部分电流密度较大，溶解较快。最后，试样形成一平坦的表面。

化学抛光的实质与电解抛光相似，也是一个表面溶解的过程，但它完全是靠化学溶剂对于不均匀表面所产生的选择性溶解来获得光亮的抛光面。抛光时将试样浸在抛光液中，或用棉花沾取抛光液在试样表面来回擦洗。化学抛光还兼有腐蚀的作用能显示金相组织。

## 5、 浸蚀：

将深经抛光后的试样在绝大多数的情况下还必须经过浸蚀后才可以在显微镜下观察到组织。最常用的金相组织的显示方法是化学浸蚀。由于材料中不同部位的成分、结构及原子排列的混乱程度不同，对同一种腐蚀剂的耐腐蚀能力不同。当用同一种腐蚀剂去腐蚀试样表面时，则试样形成高低不同浸表面，在垂直光线的照射下将显示出明暗不同的组织。

浸蚀方法是将试样浸如浸蚀剂中或用棉花粘浸蚀剂擦拭试样表面。浸蚀时间要适当。浸蚀完成后立即用水冲洗，然后用酒精棉球擦拭试样表面并吹干后即可在金相显微镜下进行观察。

## 四、 实验方法指导

### 1、 实验所用设备及材料

本次实验所需主要设备及材料有金相显微镜、砂轮机、抛光机、吹风机、试样、不同类型砂纸、玻璃板、抛光粉悬浮液、酒精、3—4%硝酸酒精溶液、棉花等。

### 2、 实验内容及步骤

每一名同学取试样一块，按照上述试样制备方法进行观察：

- (1) 用砂轮打磨获平整表面；
- (2) 使用金相砂纸按先粗后细的次序进行磨制；
- (3) 在抛光机上进行抛光获得光亮表面；
- (4) 用 3—4%硝酸酒精溶液浸蚀试样表面；
- (5) 进行显微镜观察。



## 五、 实验报告要求

- (6) 实验目的
- (7) 简述金相试样组织分析原理及金相显微试样的制备过程；
- (8) 绘制试样浸蚀后的显微组织；
- (9) 总结实验中存在的问题。

## 实验 3、铁碳合金平衡组织观察（2 学时）

### 一、实验目的

- 1、 识别和研究铁碳合金在平衡状态下的显微组织；
- 2、 分析含碳量对合金显微组织的影响，加深理解成分、组织与性能之间的相互关系。

### 二、概述

铁碳合金的显微组织是研究钢铁材料的基础。铁碳合金平衡组织是指合金在极其缓慢的冷却条件下所得到的组织。根据 Fe—Fe<sub>3</sub>C 平衡相图，虽然所有铁碳合金在室温下均有铁素体和渗碳体两个基本相组成，但随着实际含碳量不同，其铁素体和渗碳体的相对数量、析出条件及分布情况不同，呈现出不同的组织形态。

#### 1、铁碳合金中室温时的基本组织及特征：

- (1) 铁素体 (F)：为碳在体心立方铁中的固溶体。硬度较低，用 3-5% 硝酸酒精腐蚀或用苦味酸腐蚀后 F 为白色。
- (2) 渗碳体 (Fe<sub>3</sub>C)：是碳与铁形成的一种化合物，其碳含量为 6.69%，硬度极高。用 3-5% 硝酸酒精腐蚀后为 Fe<sub>3</sub>C 白亮色；而用苦味酸腐蚀则呈黑色。根据其形成条件不同可呈现出不同形态。
- (3) 珠光体 (P)：是铁素体和渗碳体的共析混合物，典型的有片状和粒状两种形态。
- (4) 莱氏体 (Ld')：是由含碳量为 4.3% 的铁碳合金发生共晶反应的产物（奥氏体 + 一次渗碳体），室温时为珠光体、二次渗碳体和共晶渗碳体的机械混合物。

#### 2、典型铁碳合金的组织及其特征

- (1) 工业纯铁：平衡组织为铁素体 (F)。用 3-5% 硝酸酒精腐蚀后 F 为白色块状（图 3-1）。
- (2) 亚共析钢：平衡组织为铁素体+珠光体 (P)，F 为白色块状，P 呈层片状，但在低倍显微镜下呈黑色块状（图 3-2）。碳质量分数超过 0.6% 时的亚共析钢，室温平衡组织中的 F 呈白色网状包围在 P 周围（图 3-3）。

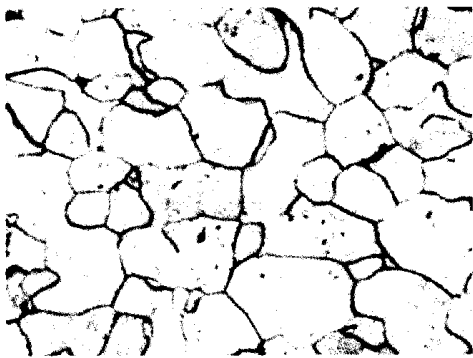


图 3-1 工业纯铁显微组织



图 3-2 碳质量分数为 0.45% 碳钢的显微组织

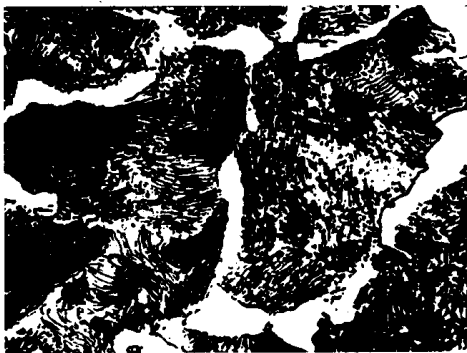


图 3-3 碳质量分数为 0.6% 碳钢的显微组织



图 3-4 共析钢的显微组织(中倍)



图 3-5 共析钢的显微组织(高倍)

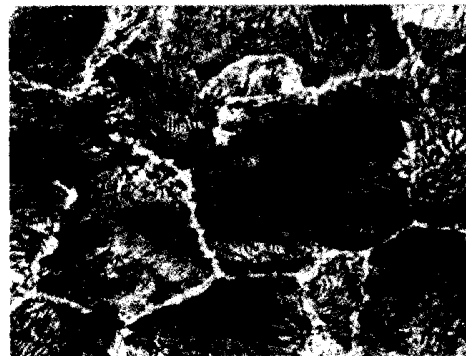


图 3-6 碳质量分数为 1.2% 碳钢的显微组织

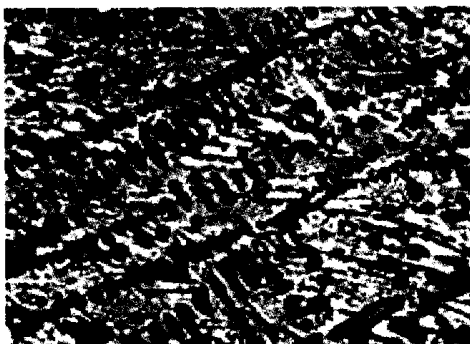


图 3-7 亚共晶白口铸铁的显微组织

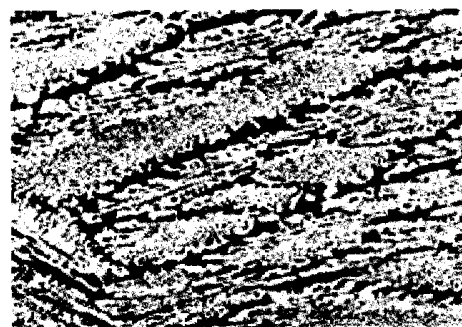


图 3-8 共晶白口铸铁的显微组织

- (3) 共析钢：室温时的平衡组织为珠光体，其组成为 F 和  $\text{Fe}_3\text{C}$ （图 3-4、图 3-5）。
- (4) 过共析钢：室温时的平衡组织为  $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$  和 P。在显微镜下， $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$  呈网状分布在层片状 P 周围（图 3-6）。
- (5) 亚共晶白口铸铁：室温时平衡组织为  $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + \text{Ld}'$ 。网状的  $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$  分布在粗大块状的 P 周围， $\text{Ld}'$  则由条状或粒状的 P 和  $\text{Fe}_3\text{C}$  组成（图 3-7）。
- (6) 共晶白口铸铁：室温时平衡组织为  $\text{Ld}'$ 。 $\text{Ld}'$  由黑色条状或粒状的 P 和白色基体  $\text{Fe}_3\text{C}$  组成（图 3-8）。
- (7) 过共晶白口铸铁：室温时平衡组织为  $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{I}} + \text{Ld}'$ 。呈  $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{I}}$  条状，而  $\text{Ld}'$  则由条状或粒状的 P 和  $\text{Fe}_3\text{C}$  组成（图 3-9）。

上述各合金中组织的相对量可通过杠杆定理求出；对于未知成分的合金也可以根据观察得到的组织及其相对含量由杠杆定理求出其含碳量。

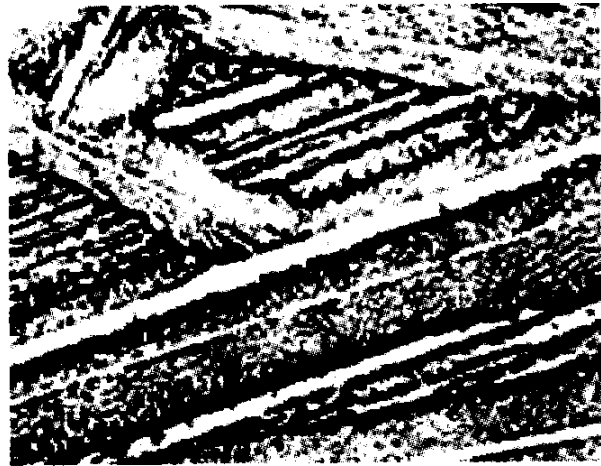


图3-9 过共晶白口铸铁的显微组织

### 三、 实验方法指导

#### 1、 实验设备和材料

- (1) 金相显微镜。
- (2) 金相图谱。
- (3) 各种典型成分铁碳合金的平衡状态下的金相样品。

#### 2、 实验内容及步骤

- (1) 实验前学生应复习讲课中有关内容和阅读实验指导书，为实验做好理论方面的准备。
- (2) 在金相显微镜下观察和分析各典型成分的铁碳合金平衡组织，识别钢和铸铁组织形态的特征，根据 Fe— $\text{Fe}_3\text{C}$  相图分析各典型合金的组织形成过程，建立成分、组织之间的相互关系的概念。
- (3) 绘出所观察到的显微组织示意图（画时应抓住组织的形态特征）并在图中表示出来。
- (4) 根据观察到的亚共析钢的组织中 F 和 P 的比例近似确定其碳含量。

### 四、 实验报告要求

- (1) 实验目的。

- (2) 画出所观察显微组织示意图，并注明材料名称、成分、腐蚀剂和放大倍数等参数。显微组织画在一直径为 30mm-50mm 的园内，并将组成物的名称用箭头标出。
- (3) 根据所观察的一种亚共析钢的显微组织近似确定其成分。

## 实验 4 显微硬度的测定与数码显微摄影

### 一. 实验目的

- 1、熟悉显微硬度试验方法和显微硬度计的使用方法；
- 2、测量金属材料或合金显微组织的硬度；
- 3、 数码显微摄影。

### 4、 显微硬度的基本概念

“硬度”是指固体材料受到其它物体的力的作用，在其受侵入时所呈现的抵抗弹性变形、塑性变形及破裂的综合能力。这种说法较接近于硬度试验法的本质，适用于机械式的硬度试验法，但仍不适用于电磁或超声波硬度试验法。“硬度”这一术语，并不代表固体材料的一个确定的物理量，而是材料一种重要的机械性能，它不仅取决于所研究的材料本身的性质，而且也决定于测量条件和试验法。因此，各种硬度值之间并不存在着数学上的换算关系，只存在着实验后所得到的对照关系。

“显微硬度”是相对“宏观硬度”而言的一种人为的划分。目前这一概念参照国际标准 ISO6507/1-82“金属材料维氏硬度试验”中规定“负荷小于 0.2kgf (1.961N) 维氏显微硬度试验”及我国国家标准 GB4342-84“金属显微维氏硬度试验方法”中规定“显微维氏硬度”负荷范围为“0.01~0.2kgf (98.07×10<sup>-3</sup>~1.961N)”而确定的。负荷≤0.2kgf (≤1.961N) 的静力压入被试验样品的试验称为显微硬度试验。

以实施显微硬度试验为主，负荷在 0.01~1kgf (9.907×10<sup>-3</sup>~9.807N) 范围内的硬度计称为显微硬度计。

显微硬度的测试原理是采用一定锥体形状的金钢石压头，施以几克到几百克质量所产生的重力（压力）压入试验材料表面，然后测量其压痕的两对角线长度。由于压痕尺度极小，必须在显微镜中测量。

### 三. 显微硬度试验方法

显微硬度测试采用压入法，压头是一个极小的金钢石锥体，按几何形状分为两种类型，一种是锥面夹角为 136°的正方锥体压头，又称维氏（Vickers）压头，另一种是棱面锥体压头，又称努普（knoop）压头。这两种压头分别示于图 4-1 和图 4-2 中。

#### 1. 维氏（Vickers）硬度试验法

##### (1). 维氏压头

二相对棱面间的夹角为 136°金钢石正方四棱角锥体，即为维氏压头（图 4-1a）。

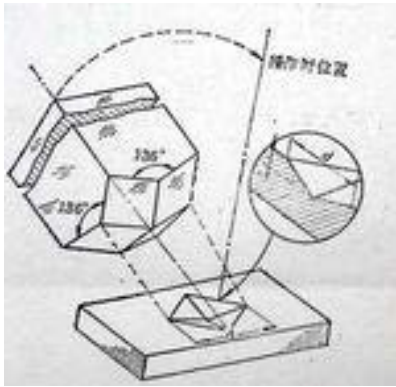


图 4-1 维氏压头

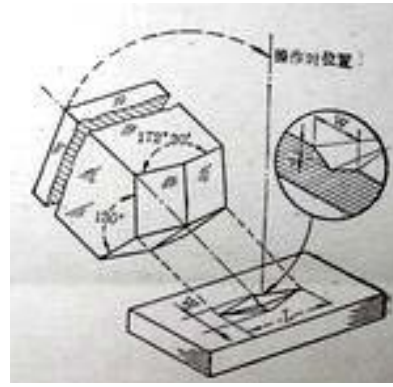


图 4-2 努氏压头

## (2). 维氏硬度

维氏压头在一定的负荷作用下，垂直压入被测样品的表面产生凹痕，其每单位面积所承受力的大小即为维氏硬度。

维氏硬度计算公式：

$$H_v = \frac{P}{S} = \frac{2P \sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1.8544P}{d^2} (\text{Kgf} / \text{mm}^2)$$

式中：Hv—维氏硬度 (kgf/mm<sup>2</sup>)；

P—负荷 (kgf)；

S—压痕面积 (mm<sup>2</sup>)；

d—压痕对角线长度 (mm)；

α—压头二相对棱面的夹角 (136°)

在显微硬度试验中，此公式表示为：

$$HV = 1854.4P/d^2$$

式中：HV— 维氏硬度 (gf/mm<sup>2</sup>)

P— 负荷 (gf)

d—压痕对角线长度 (μm)

## 2.显微硬度测试要点

显微硬度测量的准确程度与金相样品的表面质量有关，需经过磨光、抛光、浸蚀，以显示欲评定的组织。

### (1) 试样的表面状态

被评定试样的表面状态直接影响测试结果的可靠性。用机械方法制备的金相磨面，由于抛光

时表层微量的范性变形，引起加工硬化，或者磨面表层由于形成氧化膜，因此所测得的显微硬度值较电解抛光磨面测得的显微硬度值高。试样最好采用电解抛光，经适度浸蚀后立即测定显微硬度。

#### (2) 选择正确的加载部位

压痕过分与晶界接近，或者延至晶界以外，那么测量结果会受到晶界或相邻第二相影响；如被测晶粒薄，压痕陷入下部晶粒，也将产生同样的影响。为了获得正确的显微硬度值，规定压痕位置距晶界至少一个压痕对角线长度，晶粒厚度至少 10 倍于压痕深度。为此，在选择测量对象时应取较大截面的晶粒，因为较小截面的晶粒其厚度有可能是较薄。

#### (3) 测量压痕尺度时压痕象的调焦

在光学显微镜下所测得压痕对角线值与成像条件有关。孔径光栏减小，基体与压痕的衬度提高，压痕边缘渐趋清晰。一般认为：最佳的孔径光栏位置是使压痕的四个角变成黑暗，而四个棱边清晰。对同一组测量数据，为获得一致的成像条件，应使孔径光栏保持相同数值。

#### (4) 试验负荷

为保证测量的准确度，试验负荷在原则上应尽可能大，且压痕大小必须与晶粒大小成一定比例。特别在测定软基体上硬质点的硬度时，被测质点截面直径必须四倍于压痕对角线长，否则硬质点可能被压通，使基体性能影响测量数据。此外在测定脆性质点时，高负荷可能出现“压碎”现象。角上有裂纹的压痕表明负荷已超出材料的断裂强度，因而获得的硬度值是错误的，这时需调整负荷重新测量。

#### (5) 压痕的弹性回复

对金刚石压头施一定负荷的力压入材料表面，表面将留下一个压痕，当负荷去除后，压痕将因金属的弹性回复而稍微缩小。弹性回复是金属的一种性质，它与金属的种类有关，而与产生压痕的荷重无关。就是说不管荷重如何，压痕大小如何，弹性回复几乎是一个定值。因此，当荷重小时，压痕很小，而压痕因弹性回复而收缩的比例就比较大，根据回复后压痕尺寸求得的显微硬度值则比较高。这种现象的存在，使得不同荷重下测得的硬度值缺乏正确的比较标准，因此有必要建立显微硬度值的比较标准。

### 3.显微硬度值的比较标准

与宏观硬度相比，显微硬度测量结果的精确性、重现性和可比较性均较差。同一材料，在不同仪器上，由不同试验人员测量往往会测得不同结果，即使同一材料，同一试验人员在同一仪器上测量，如果选取的载荷不同，其测量结果的差异也较大，难以进行比较。导致这一后果，不仅



与仪器精度、试样制备优劣、样品成分、组织结构的均匀有关，最主要的是在小负荷下载荷与压痕不遵守“几何相似定律”。

宏观维氏硬度应用的公式是建立在“硬度与负荷无关”的几何相似定律基础之上的，其在10—100Kg 载荷下试验得到证实。然而在小负荷下（1—1000G）的试验结果表明：几何相似定律不再适用。由于压痕的弹性回复所致，使同一试样的相同测试对象在载荷变化时显微硬度值不相等。

哈纳门（HANEMANN）提出：既然显微硬度值的差别是由压痕大小引起的，故此以一定尺寸的压痕对角线长度计算的硬度值  $H5\mu$ ， $H10\mu$ ， $H20\mu$  作为显微硬度的比较标准。在硬度测试中，不可能得到完全与标准压痕相同的压痕长度，因此需要首先测出不同载荷的硬度值（5—6个），并绘出压痕对角线长度  $D$  与显微硬度  $HM$  的关系曲线。再从曲线上求得  $H5\mu$ ， $H10\mu$ ， $H20\mu$ 。

#### 4.显微硬度试验的优缺点

##### (1) 优点

a. 显微硬度试验是一种真正的非破坏性试验，其得到的压痕小，压入深度浅，在试件表面留下的痕迹往往是非目力所能发现的，因而适用于各种零件及成品的硬度试验。

b. 可以测定各种原材料、毛坯、半成品的硬度，尤其是其它宏观硬度试验所无法测定的细小薄片零件和零件的特殊部位（如刀具的刀刃等），以及电镀层、氮化层、氧化层、渗碳层等表面层的硬度。

c. 可以对一些非金属脆性材料（如陶瓷、玻璃、矿石等）及成品进行硬度测试，不易产生碎裂。

d. 可以对试件的剖面沿试件的纵深方向按一定的间隔进行硬度测试（即称为硬度梯度的测试），以判定电镀、氮化、氧化或渗碳层等的厚度。

e. 可通过显微硬度试验间接地得到材料的一些其它性能。如材料的磨损系数、建筑材料中混凝土的结合力、瓷器的强度等。

f. 所得压痕为棱形，轮廓清楚，其对角线长度的测量精度高。

##### (3) 缺点

a. 试件尺寸不可太大；如要知道材料或零件的硬度，则必须对试件进行多点硬度试验。对试件的表面质量要求较高，尤其是要求表面粗糙度要在  $RA0.05$  以上。

b. 对测试人员必须进行一定的训练。以保证测试人员的瞄准精度。

c. 对环境要求高，尤其是要求有严格的防振措施。

## 四. 显微硬度在金相研究中的应用

### 1 金属材料、合金相的研究

显微硬度广泛应用于测定金属及合金中各组成相的硬度，剖析其对合金性能的贡献，为合金的正确设计提供依据。

如各类碳化物显微硬度的研究，为制造优良的硬质合金提供了有效的实验依据。借助合金中各组成相的显微硬度，分析在合金强化中起主要作用的结构组分，因此，显微硬度又是配合研究多相合金中各组分对强化影响的重要手段。

### 2. 金属表面层性能的研究

#### a. 扩散层性能的研究

例如：渗碳层、氮化层、金属扩散层等表面处理层的性能。

#### b. 表面加工硬化层性能的研究

如研究机械加工、热加工、切削加工对金属表面硬度的影响等。

#### c. 晶粒内部不均匀性的研究

由于显微硬度对化学成分不均匀的相具有较敏感的鉴定能力，故常用于研究分析晶粒内部的不均匀性。如通过合金中固溶体枝晶偏析的测定，得到晶粒不均匀与成分、状态间的关系，进而为控制、消除偏析提供数据。

#### d. 细薄金属成品硬度的测量，如薄片、细丝和粉末颗粒等。

#### e. 其他方面的应用 研究晶界的本质、金属材料受原子能辐射后的影响等。

## 五. 显微硬度测量的压痕尺寸效应

宏观硬度测量法是建立在“几何相似定律”基础之上的，但在进行显微硬度试验时，采用微小负荷，所得压痕对角线长度与试验负荷之比不符合“几何相似定律”。通过对表面显微硬度的研究表明：开始时，随着负荷的增加，显微硬度开始增加，达到最大值之后又开始缓慢降低。在进行试验时，显微硬度在微小负荷范围内随着负荷变化而发生明显变化的现象，称为压痕尺寸效应。因此，负荷的选择很重要，只有在相同负荷下测得的硬度之间进行比较才有意义。

常规维氏硬度与试验负荷无关，其硬度计算公式如下：

$$Hv = \frac{9.807d^2}{2F \sin(136/2)} = 189.1 \frac{F}{d^2}$$

式中 F 为试验负荷（牛顿），d 为压痕两对角线长度的平均值（ $\mu\text{m}$ ）。可导出：

$$F=ad^2 \text{ (Kick 定律数字表达式)}$$

但在进行显微硬度试验中，所测得  $d$  与  $F$  之间不再满足 Kick 定律，而遵守 Meyer 定律。在 Meyer 定律中，指出：载荷与压痕的关系不服从“几何相似定律”，提出经验公式：

$$F=adn$$

$n$  为 Meyer 指数，它受多种因素影响而变化。对具体某种材料，在相同的工艺条件和测试条件下  $n$  为定值，所以显微硬度值与载荷  $F$  有关。

不少学者对压痕尺寸效应的机理作了大量研究，归纳起来，比较合理的理论解释主要有如下两种：一种看法认为，由于维氏金刚石正四角锥硬度压头尖端存在一圆角关系，即使不考虑材料的弹性变形，对理想塑性体也无法满足压痕几何形状相似的要求。压痕几何形状变形导致应力、应变场大小、分布上的变化，因此 Meyer 定律中的比例常数  $n$  也就不再与负荷大小无关了，这必导致材料在微小负荷时显微硬度值随负荷的变化而变化。

另一种看法是以 Bückle 为代表的学者。他们认为，显微硬度的压痕尺寸效应是由于被测物体在试验时因为压头下的材料变形，致使压痕四周引起隆起的高度与压痕尺寸大小不成正比关系。在微小负荷时，位错滑移可沿一定的晶面无阻碍的进行，但随着变形量的增加，滑移逐渐受阻；在高负荷时，压痕四周就难再产生滑移，这时压痕附近的隆起与压痕大小成正比关系的动态平衡就建立起来了。该观点成功地解释了金属材料为什么在微小负荷范围内随着负荷逐渐升高硬度呈下降的趋势；而在高负荷即宏观硬度测试时，硬度值不再随负荷变化而变化。

### ①样品制备

在 NEC9SDH-2 型串列加速器上进行。加速器产生的离子束经过 X-Y 静电扫描仪后，均匀地注入样品，注入面积为  $\phi 10\text{mm}$ ，束流强度控制在  $100\text{Na}/\text{cm}^2$  以内，这样可以保证样品在注入过程中不会受到热效应的影响。离子注入期间靶室真空维持在  $133\ \mu\text{Pa}$  左右。

选用  $\text{B}^+$ 、 $\text{C}^+$ 、 $\text{Cu}^+$  等几种轻重不同的离子，注入能量分别为  $650\text{keV}$ 、 $1\text{MeV}$  和  $2\text{MeV}$ ，注入剂量从  $10^{12}/\text{cm}^2$  到  $10^{16}/\text{cm}^2$  之间不等。

### ②测试仪器及方法

利用 DMH-2LS 型超微载荷显微硬度计测量在离子注入前后样品表面的努氏 (Knoop) 显微硬度，用  $5\text{g}$  的载荷，每个样品都测量三个不同的位置，取其平均值。

## 六. 显微硬度计的介绍—HXD-1000TC 型显微硬度计

仪器参数如下：

实验力级别分八级： 10、25、50、100、200、300、500、1000gf

保荷时间：5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60s

## 七. 实验内容

选择多相合金试样。

- (1)、工业纯铁（平衡状态）：F
- (2)、20 钢（平衡状态）：F+P（少量）
- (3)、20 钢（淬火态）：M（板条状）
- (4)、T12 钢（平衡状态）：P+Fe<sub>3</sub>C
- (5)、T12 钢（淬火态）：针状 M

对上述试样整平、磨光和抛光处理。

对多相合金，测定各相的显微硬度值。

上述工作以小组为单位完成。

## 八. 实验报告

1.实验目的

2.实验过程及操作体会

3.实验结果与分析

(1)、对多相合金，测定各相的显微硬度值，比较它们的差别，说明存在（或不存在差别）的原因。

(2)、将所拍摄照片附于实验报告中，并对实验结果进行分析。

## 实验5 金属的塑性变形与再结晶（3学时）

### 一、实验目的

- 1、观察显微镜下滑移线、变形孪晶与退火孪晶的特征；
- 2、了解金属经冷加工变形后显微组织及机械性能的变化；
- 3、讨论冷加工变形程度对再结晶后晶粒大小的影响。

### 二、概述

#### 1、显微镜下滑移线与变形孪晶

金属在受力超过弹性极限后将产生塑性变形，金属的塑性变形一般通过滑移和孪晶两种基本方法来实现。

滑移是指晶体在切应力的作用下沿特定的晶体学面而产生的相对移动，滑移后在滑移面的两侧晶体的位向保持不变。若把经抛光的纯铝试样拉伸试样表面会出现变形台阶，一组合小的台阶在显微镜下只能观察到一条黑线---滑移带。变形后的显微组织由许多滑移带所组成。对于多晶体经变形后在金相显微镜下观察可发现：不同晶体内滑移带的方向往往不同，滑移带的密度不同，这是由于晶体的不同空间取向而形成的；同一晶体内晶粒中心和晶界处的滑移带密度也不相同，前者密度低而后着密度高，表明晶体变形的不均匀性；在一些变形量大的晶体内还可发现双滑移现象（滑移沿几个滑移系进行，产生相互交错的滑移带。滑移系统较多的晶体结构（如面心立方结构）一般以滑移方式产生塑性变形。

孪生是晶体在切应力作用下晶体的一部分以一定的晶面（孪生面）为对称面，与另一部分发生对称移动的变形方式。孪生后孪晶面的两侧晶体的位向发生变化，呈镜面对称。由于光线的反射能力发生了突变，在显微镜下可看到较宽的孪生变形痕迹---孪晶带或双晶带。孪生易发生在滑移系统数目较少的晶体（如密排六方结构）中，体心立方结构的铁在零度以下受冲击载荷时也以孪生方式发生塑性变形，在显微镜下呈发亮的竹叶状的特征。

#### 2、变形程度对金属组织和性能的影响

退火后的金属一般为等轴晶。经微量变形后晶粒内即出现滑移带，较大的变形可使晶粒沿变形方向被拉长。变形程度越大，晶粒被拉得越长，当达到很大的变形时晶粒内部被许多的滑移带分割成细小的小块，呈纤维状。同时变形抗力增大，强度、硬度增加而塑性下降---产生加工硬化。

#### 3、形变金属在加热后组织和性能的影响

加工硬化的金属处于高能量状态，不稳定，有力求恢复到稳定状态的趋势。加热则为此创造了条件。

在较低温度加热时，金属内部的应力部分消除，歪曲的晶格恢复正常，但显微组织没有变化，原来拉长的晶粒仍然是伸长的。这种部分恢复的过程成为回复。但加热到金属再结晶温度以上时，则加工硬化的金属发生再结晶，显微组织发生显著变化。原拉长的晶粒消失，生成新的无内应力的等轴晶粒；机械性能完全恢复。 $\alpha$ -黄铜变形 60%后的组织，经 270℃再结晶退火后其组织为由许多细小的等轴晶和部分原纤维状组织组成；退火温度升高到 350℃，纤维组织全部消失，其组织全部为细小的等轴晶粒；此后再继续升高温度，则发生再结晶晶粒的聚集长大，温度越高，晶粒越粗大。 $\alpha$ -黄铜经再结晶退火，其组织中可发现明显的退火孪晶，其是与基体颜色不同的、边界平直的小块。再结晶后晶粒的大小不仅与再结晶温度有关，而且与再结晶前的变形程度有关。对于一定的材料在同一温度下进行再结晶退火，存在一临界变形量，小于此临界变形量时，随变形量的增加再结晶晶粒增大，大于此临界变形量，再结晶晶粒则随变形量的增加而减小。显然，当预变形量等于临界变形量时，再结晶晶粒最大。铁的临界变形量为 7—15%，而铝的临界变形量则为 2—4%。

### 三、实验任务

- 1、测定纯铝再结晶后的晶粒大小与变形量的关系；
- 2、测量工业纯铁不同变形量变形后试样的硬度；
- 3、观察  $\alpha$ -Fe、纯铝滑移带、锌的变形孪晶、 $\alpha$ -黄铜的退火孪晶的特征，并画出组织示意图。

### 五、实验方法指导

#### 1. 实验设备和材料

本次实验所需设备有：金相显微镜、手动拉伸机、加热炉、布氏和洛氏硬度计等。所需试样有纯铝、纯铁滑移带试样；锌经不同变形量变形后的变形孪晶试样；纯铝片经不同变形量变形、500-600℃退火 30 分钟的退火孪晶试样；工业纯铁经不同变形量变形后的试样（一套）。

#### 2. 实验步骤

- (1) 熟悉手动拉伸机的使用方法，布氏、洛氏硬度计的原理、构造和操作。
- (2) 在手动拉伸机上按表 5-1 的要求将原始长度为 100cm 的纯铝片拉伸至所要求的尺寸，拉伸时纯铝片的长度反方向必须平行拉伸方向。
- (3) 将变形后的试样集中起来，一起放入 500—600 度的炉中进行加热 30 分钟，试样冷却后（水冷）进行宏观腐蚀以显示晶粒大小。

a. 用 1: 1 的硝酸盐溶液浸蚀，当能清楚地用肉眼看到晶粒时，即可用水冲洗。

b. 腐蚀剂用纯铜 50 克、硝酸 300cc 和水 300cc 配成，或采用 40%NaOH 腐蚀。腐蚀后用自来水冲洗干净，擦干后即可看出晶粒。

(4) 观察试样上晶粒的分布情况，统计 1cm<sup>2</sup> 面积中晶粒的数目。数晶粒时，先数整晶粒数  $Z_1$ ，然后再数半晶粒数  $Z_2$ ，四分之一晶粒数  $Z_3$ ，……。故总晶粒为：

$$Z = Z_1 + Z_2/2 + Z_3/4 + \dots$$

并计算晶粒大小  $\alpha$ ：

$$\alpha = 1/Z \text{ (平方厘米)}$$

从所得  $\alpha$  即可作出变形度与再结晶晶粒大小的关系曲线。并将实验所得结果填如表 5-2。

(4) 测量工业纯铁不同变形度的硬度 HB。

(6) 观察滑移带、变形孪晶、退火孪晶的特征，比较它们的区别与形成，画出组织示意图。

### 三、 实验报告及要求

- 1、 实验目的、任务和实验结果。
- 2、 根据记录，建立纯铝片“变形度与再结晶后晶粒大小”的关系曲线，讨论变形度对纯铝片再结晶晶粒大小的影响。
- 3、 根据实验结果，分析冷变形对纯铁性能（硬度）的影响。
- 4、 画出所观察的滑移带、变形孪晶、退火孪晶的示意图。

表 5-1：纯铝片的拉伸变形

试样编号	1	2	3	4	5	6
要求变形度 (%)	1	3	6	9	12	15
变形后试样长度 (cm)	101	103	106	109	112	115

表 5-2 纯铝变形再结晶退火后的晶粒大小

退火温度 °C	保温时间 (分)	测得数据	变形程度%					
			1	3	6	9	12	15
		1cm <sup>2</sup> 内的晶粒 数 Z						
		晶粒大小 (1/Z)						

## 实验6 钢的奥氏体晶粒度的测定（3学时）

### 一、实验目的

1、熟悉奥氏体晶粒度的测定方法。

了解加热温度对奥氏体晶粒大小的影响。

### 二、概述

#### 1、晶粒度及其相关概念

金属及合金的晶粒大小与金属的机械性能、工艺性能及物理性能有着密切的关系。细晶粒金属材料的机械性能、工艺性能均比较好，它的冲击韧性和强度都比较高，塑性好，易于加工，在热处理如淬火时不易开裂。而粗晶粒金属材料的机械性能、工艺性能均比较差，它的冲击韧性差、强度低，塑性差，不易加工，在热处理如淬火时易变形、弯曲甚至开裂。金属材料的晶粒大小称为晶粒度，评定晶粒度的方法称为晶粒度测定。为便于统一比较和测定，冶金部颁发了YB27-77《钢的晶粒度测定方法》，其中制定了统一测定方法和标准晶粒度级别。按晶粒大小分为8级。1—3级为粗晶粒，4—6级为中等晶粒，7—8级为细晶粒，如图6-1所示。钢中奥氏体晶粒度的测定分为奥氏体本质晶粒度的测定和实际晶粒度的测定，可采用比较法和弦计算法。

#### (1) 比较法：

将已准备好的试样在100倍的显微镜下进行观察，然后与标准晶粒度级别图进行比较，最近似的标准晶粒度级别定为试样的晶粒度级别。若显微镜的放大倍数不是100倍时，仍可按标准晶粒度级别图测定观察时的晶粒度，然后按表6-1换算成100倍时的标准晶粒度级别。

有的目镜带有8块测微圆玻璃片，每片玻璃上刻有类似于各级晶粒大小的格子，测定晶粒度时转动圆盘比较晶粒大小，可以评定被测试样的晶粒度级别。若试样晶粒不均匀，则可记为如7—8级，7—5级等，前一级别占多数。如只写一个级别时，表示它占90%以上。该方法简单、实用，使用较为广泛。

表6-1 不同倍数下晶粒度换算为放大100倍时的晶粒度表

实际放大倍数	晶粒度级别											
	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	1	2	3	4	5	6	7	8				
200					1	2	3	4	5	6	7	8
300						1	2	3	4	5	6	7
400							1	2	3	4	5	6

#### (2) 弦计算法：



先将待测试样选择有代表性的部位拍摄成金相照片，放大倍数为 100 倍。当晶粒过大或过小时，倍数可适当缩小或放大，使视场内直径上不少于 50 个晶粒。在照片上画出几条足够长的线段（长度相等），数出直线相截的晶粒总数，线段端部未被完全交截的晶粒应按一个晶粒计算，然后按下式技术弦的平均长度，查相关表格确定晶粒度级别。

$$d = nL/zM$$

式中：d ---弦的平均长度（mm）； n---线段条数； L---每条线段长度（mm）；

Z---相截晶粒总数； M---放大倍数。

## 2、奥氏体晶粒的显示方法：

奥氏体晶粒大小主要决定于钢加热时奥氏体区所达到的最高温度、保温时间和加热速度。欲测定在一定情况下奥氏体晶粒的大小，先将所要测定的钢加热到一定的温度，并保持一定的时间，然后以不同的冷却方法，使原奥氏体晶粒的晶界在常温下显示出来，再测定其晶粒大小。钢的奥氏体晶粒的显示方法有多种，现将常见的奥氏体晶粒的显示方法介绍如下。

- (1) **渗碳法：**该方法主要应用于低碳亚共析钢的奥氏体晶粒的显示。将所测试样放置在强渗碳剂中于 925 度进行渗碳，渗碳后缓慢冷却至室温。在冷却过程中沿原奥氏体晶界析出渗碳体网，利用此网来测定奥氏体晶粒大小。晶粒度测定所用时间较长。
- (2) **等温法：**将试样加热到临界点以上的适当温度保温相当时间后迅速转移到另一温度（如 550---560 度）的炉中，使奥氏体发生等温分解。这时将沿着奥氏体晶界析出网状铁素体（或渗碳体），利用此网来测定奥氏体晶粒大小。此法适用各种碳含量的碳钢及低合金钢。
- (3) **正火法：**适用于碳含量较高的亚共析钢及过共析碳素钢。将试样加热到适当的温度保温一定时间后在空气中冷却，冷却通过临界区域时，沿奥氏体晶粒边界析出铁素体（渗碳体）网。利用此网来测定奥氏体的晶粒大小（此法不适用于高合金钢）。
- (4) **氧化法：**先把试样表面磨光，然后把试样磨面朝下放在具有氧化气氛的炉中加热到指定温度保温 20 分钟，再把试样磨面朝上保温一定时间（15 分），利用高温的氧化介质（如空气等），使试样表面氧化。由于晶界比晶内容易氧化，其氧化层较深，冷却后轻轻磨去表面氧化皮，再抛光后即可显露出保存在奥氏体晶界的氧化膜而显示出奥氏体晶粒。此法使用范围广。如结构与工具钢皆可应用。本实验采用氧化法来测定奥氏体晶粒。
- (5) **腐蚀法：**用氧化法测定奥氏体晶粒大小，若磨光太深，把氧化网络磨掉了，则可用 [HCl(10c.c)+HNO<sub>3</sub>(3c.c)+酒精(100c.c)] 溶液侵蚀，可显示出原先加热时的奥氏体晶粒边界。

本次实验采用氧化法测定奥氏体晶粒度。

### 三、 实验设备及样品

- 1、 加热电阻炉：760℃、800℃、900℃、950℃、1000℃各一。
- 2、 金相试样的磨光、抛光设备，浸蚀剂。
- 3、 金相显微镜。
- 4、 淬火水槽。
- 5、 标准晶粒度图谱。
- 6、 相关试样。

### 四、 实验步骤

每五人一组，领取 5 各试样（每人一个试样）。

- 1、 磨光：如同制备显微试样一样，须在各砂纸上由粗到细逐次磨光，磨至 02 号砂纸为止。试样表面若过于粗糙，虽然扩大氧化面积，但加热时易脱碳氧化不均匀，网络易被磨纹阉断；若过于光滑，则网络过浅较难显示。
- 2、 磨光后的试样分别放入 760℃、800℃、900℃、950℃、1000℃ 炉子中加热。为防止脱碳，先把试样磨光面朝下加热，保温 20 分钟后将试样磨光面朝上，再加热 15 分钟（试样露于空气中进行氧化）然后取出迅速移入水中冷却。
- 3、 在试样已经磨过的磨面上，仍用 02 高砂纸仔细磨掉氧化皮，大约磨面上有一半发亮时为止。即进行抛光。
- 4、 在 100 倍的显微镜下观察晶粒大小。并与标准晶粒图谱对照，测出该试样的晶粒度级别。应该三个不同区域评定，最后予以平均。注：细磨抛光是为了去掉晶内氧化层，但要保留晶界氧化层。若磨光太少，氧化皮未去掉，则显示不出氧化网络而在抛光面上出现黑疤孔洞，当磨光较好时出现粗糙黑色网络。可籍此显示晶粒度。若磨光太深，把氧化网络磨掉，则可用浸蚀法仍能把奥氏体晶粒度清晰的显示出来。

### 五、 实验报告要求：

- 1、 实验目的。
- 2、 将实验结果积入表 6-2 中。
- 3、 画出加热温度与晶粒度关系曲线并进行分析。
- 4、 试说明怎样才能获得细的奥氏体晶粒。

表 6-2 不同热处理后钢的晶粒度

试样编号	钢号	加热温度 (°C)	保温时间 (min)	氧化时间 (min)	晶粒度号数			
					1	2	3	平均



图6-1 标准晶粒度级别

## 实验7 淬火钢中马氏体形态观察（3学时）

### 一、实验目的

- 1、观察分析低、中、高碳钢淬火后的马氏体组织形态。
- 2、了解钢的含碳量和奥氏体化温度对马氏体组织形态的影响。

### 二、实验原理

#### 1、两种典型的马氏体

##### （1）板条状马氏体：

低碳钢及低合金钢淬火后得到板条马氏体组织，其主要特征是：呈细长的板条状，许多尺寸大致相同的板条马氏体定向地相互平行排列组成马氏体板条群。一个原奥氏体晶粒内包含3—5个板条群。每一个板条状马氏体的宽度多在 $0.1\mu\text{m}$ — $0.2\mu\text{m}$ 之间，其内部亚结构为大量位错，只能借助于电子显微镜才能观察到。

##### （2）针状（片状）马氏体：

高碳钢淬火后得到针状马氏体组织，其主要特征是：呈针状或竹叶状，其空间立体形状为双凸透镜状，故称为片状马氏体。在原奥氏体晶粒中最初形成的马氏体片往往是最大的，贯穿整个奥氏体晶粒；当温度继续下降时，其后陆续形成的马氏体片越来越小，互相之间呈一定交角，分割奥氏体，因而马氏体片大小不等。马氏体片与片之间的组织为残余奥氏体。粗大片状马氏体形成时常伴随显微裂纹的发生，奥氏体化温度越高，马氏体片越粗大，产生显微裂纹的倾向也越大。片状马氏体内部的亚结构主要为孪晶，故又称为孪晶马氏体。

对于碳钢，其含碳量低于0.2%时，可形成全部板条状马氏体，含碳量高于1.0%可形成全部针状马氏体（残余奥氏体），含碳量在0.2%--1.0%之间，可形成板条马氏体和针状马氏体的混合物。

#### 2、低、中、高碳钢淬火后的马氏体组织

##### （1）低碳钢（15、20、20Cr等）：

在正常温度淬火后为相互平行的板条状马氏体。

##### （2）中碳钢（45、40Cr等）：

在正常温度淬火后组织为相互平行的板条状马氏体和针状马氏体的混合物，其中板条马氏体较多，针状马氏体较少，并且由于针状马氏体的形成的温度较板条马氏体的形成温度低，针状马氏体形成时奥氏体的量已经很少，所以针状马氏体较细小，不易鉴别。若淬火温度低于 $A_{c3}$ ，则淬火后存在少量的铁素体组织。45钢正常温度淬火后的组织为板条状马氏体+少量片状马氏

体。

(3) 高碳钢 (T12、T10 等):

在正常加热温度下,奥氏体的碳含量接近于共析成分,并保留有许多细小的均匀分布的渗碳体颗粒,故淬火后得到的组织为:细针状马氏体+少量板条状马氏体+粒状渗碳体。由于晶粒细小,马氏体混合组织均很细,再加上渗碳体的存在,使试样极易腐蚀,故马氏体组织的鉴定就更困难了。

随着淬火温度的升高,渗碳体逐步接近全部溶入奥氏体中,奥氏体晶粒粗大,就能清楚地看到针状马氏体和残余奥氏体,甚至能观察到针状马氏体中的显微裂纹。

### 三、 实验设备及材料

- 1、 淬火加热炉 (1000℃、820℃、760℃) 三台。
- 2、 淬火介质: 水、10%盐水。
- 3、 试验材料: 20、45、T12 钢。
- 4、 金相显微镜、4%硝酸酒精腐蚀剂等。

### 四、 实验方法及步骤

- 1、 每 8 人一小组 (每人一块试样), 每小组分别领取 20 钢一块、45 钢三块 T12 钢四块。
- 2、 按表 7-1 要求的淬火温度进行淬火 (保温 30 分钟)。
- 3、 用淬火后的试样制备金相样品, 在金相显微镜下观察组织。

### 五、 实验结果

表 7-1: 试样淬火规范

编号	钢号	淬火温度	保温时间	淬火介质	显微组织
1	20 钢	1000℃	30 分	10% 盐水	
2	45 钢	760℃	30 分	水	
3	45 钢	820℃	30 分	水	
4	T12	760℃	30 分	水	
5	T12	820℃	30 分	水	
6	T12	1000℃	30 分	水	
7	T12	820℃	30 分	空冷	
8	45 钢	820℃	30 分	空冷	

### 六、 实验报告要求

- 1、 简述实验原理;
- 2、 将实验规范及结果按表 1 的格式列出;
- 3、 画出 1、4、6 号试样的金相组织;
- 4、 分析淬火温度对 T12 钢组织的影响。

## 实验 8 合金的流动性及其测定 (2 学时)

### 一、实验目的

- 1、熟悉合金流动性的概念，掌握铸造合金流动性的测定方法。
- 2、了解影响合金流动性及充型能力的因素。

### 一、实验原理

#### 1、充型能力

液态合金填充铸型的过程，称为充型。液态合金充满铸型型腔，获得形状完整、轮廓清晰的铸件的能力，称为液态合金的充型能力。若充型能力不足，将使铸件产生浇不足或冷隔等缺陷。前者使铸件不能获得完整形状；后者虽可使铸件获得完整的外形，但存在未完全熔合的接缝，使铸件力学性能严重受损。

#### 2、流动性

合金的流动性是指液态合金本身的流动能力。它是合金固有的性质，与合金的种类、化学成分、凝固方式等有关。流动性是合金的铸造性能之一。

流动性好的合金，容易充满铸型型腔，得到形状正确、轮廓清晰的铸件。故估计这类铸件时允许采用较薄的壁厚，壁厚不能太薄。

#### 3、影响充型能力的因素

影响液态合金充型能力的因素，主要有以下几个方面：

(1) 合金流动性的影响：合金的流动性是合金铸造过程中的一种工艺性能，它将直接影响液态合金的充型能力。合金的流动性越好，充型能力越强，越能浇出轮廓清晰、壁薄而复杂的铸件，同时也有利于夹杂物和气体的上浮与排除，有利于凝固过程的补缩。合金流动性差，则液态合金难于充满型腔，充型能力下降，易产生浇不足、冷隔、气孔、夹杂等缺陷。

(2) 浇注条件的影响：浇注条件包括浇注温度和充型能力。浇注温度对合金充型能力的影响最大。浇注温度越高，液态合金蓄热越多，液态金属的粘度越小，合金在铸型中保持流动时间长，液态金属的充型能力就越强。相反，浇注温度低，则充型能力差。特别是浇注温度接近液相线时，充型能力显著下降。充型能力对液态合金的充型能力也有较大的影响。液态合金在流动方向上所受的压力越大，则充型能力越强。砂型铸造时，充型压力是指直浇道所产生的静压力。但充型压力不宜过大，否则，液态合金易冲坏铸型。

(3) 铸型填充条件：液态合金充型时，铸型的阻力将影响合金的流动速度；铸型的导热速度也将影响合金的充型能力。铸型型腔复杂、导热速度快，均会降低液态合金的充型能力。

#### 4、影响流动性的因素

合金的流动性受合金的化学成分、凝固方式影响最大。纯金属和具有共晶成分的合金是在恒温下逐层凝固的，凝固层内表面较光滑，对液体的流动阻力小，流动性好；非共晶成分合金是在一定温度范围内结晶的，凝固方式为中间或糊状凝固，已结晶的树枝晶对液态合金的流动阻力较大，流动性较差，结晶温度范围越大，则合金的流动性越差。此外，合金的流动性受其结晶过程中释放的结晶热、液体的粘度、表面张力等因素的影响。

#### 5、测试方法

液态合金的流动性通常用“螺旋型试样”的螺旋线长度来衡量（图 8-1）。在比较不同合金的流动性时，应在相同的铸型和浇注条件下进行测定。

将液态合金浇注到试样砂型中，凝固冷却后测定所浇出试样的螺旋线的长度，以比较不同合金的流动性。螺旋线越长，则表示该合金的流动性越好。反之，流动性就差。试样上每一标点间距为 50mm。

### 三、实验设备及材料

- 1、螺旋型试样模板及造型工具。
- 2、电阻坩锅炉。
- 3、热电偶、温度记录仪。
- 4、型砂紧实度测定仪。
- 5、材料 ZL102、ZL105。
- 6、水平尺、钢尺。

### 四、实验方法及步骤

- 1、学生分组造型。
- 2、测定液态合金的温度，待温度合格后进行浇注。
- 3、凝固冷却后，开箱清理，测定螺旋线的长度。
- 4、将各组数据填入表 8-1。清理实验现场。

### 五、实验报告要求

- 1、将实验数据填入实验报告，分析不同成分合金的流动性。
- 2、分析浇注温度对充型能力的影响。
- 3、简述影响合金流动性的因素及合金流动性对铸件质量的影响。

表 8-1 流动性实验数据

组 别	I		II		III	
	1	2	3	4	5	6
合金牌号	ZL102	ZL105	ZL102	ZL102	ZL105	ZL105
浇注温度 (°C)	710	710	710	780	780	780
实测浇注温度 (°C)						
直浇道高度 (mm)						
螺旋线长度 (mm)						

## 六、注意事项

- 1、造型时，注意型砂的干湿度。
- 2、要求型砂紧密度在  $1.6 \sim 1.8 \text{g/cm}^3$ 。
- 3、砂型保持水平；铸型扎出气孔，注意不能扎透型腔。
- 4、开箱清理时温度不能过高。

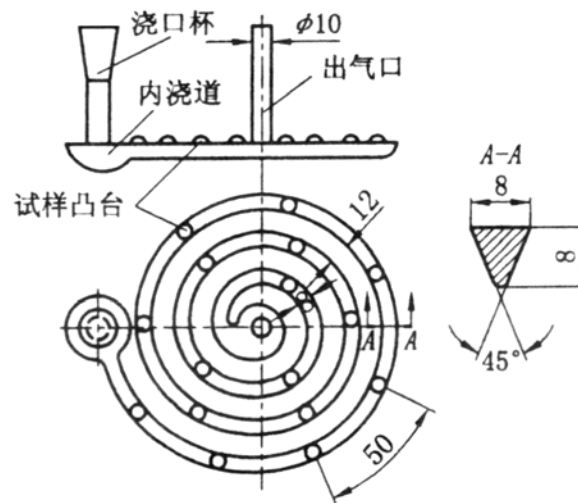


图8-1 螺旋形标准试样



## 实验9 典型铸锭组织分析（2学时）

### 一、实验目的：

1. 掌握铸锭的三种典型组织及其特征。
2. 分析凝固条件对铸锭组织的影响。

### 二、实验原理：

铸锭的三个晶区是在不同的条件下形成的，若改变液体金属的冷却条件和浇注温度以及变质处理等凝固条件，则将改变三个晶区，特点是在状晶区和等轴晶区的相对面积以及各自的晶粒大小。

冷却速度越快或铸模内外温差越大，则有利于柱状晶的发展。例如，改变模壁材料就改变及金属的冷却条件，金属模比砂模获得更大的柱状晶区。

当液体金属倒入铸模以后，结晶首先从靠近模壁处开始，在该处因过冷度极大晶核产生较多，这些核心长大时很尖彼此接触，形成细小的等轴晶粒，称为细等轴晶区。

在细等轴晶形成的同时，模壁温度已升高，过冷度已减少，与液体接触的小枝晶要长大，但在长大过程中很快与上下左右的枝晶相撞，长大受到了限制。这时只有晶轴与模壁垂直的小枝晶向液体内部不断伸展而受阻，而此时散热有了方向性。

随模壁温度继续上，散热速度逐渐降低，柱状晶长大速度也渐趋减小，这时仍为液体的中心区域，温度也渐渐降低，并趋于均匀，最后在这部分液体的整个体积内，将同时出现许多核心，这些核心向各方向长大，于是在铸锭组织内部形成许多位向不同的粗大等轴晶粒，因为该区过冷度小，核心产生得少，且因散热无方向性，故形成粗等轴晶区。

### 三、实验仪器设备

坩埚电阻炉、石墨坩埚、热电偶温度计、钢模、干砂模和手钳等。

### 四、实验内容、步骤

- 1、将熔融的液态金属铝注入模内。每小组浇注一个铸锭，冷却后将铝锭取出，分别在两端打一记号，以便识别。
- 2、将铝锭用虎钳夹住，在离底层 25mm 处锯开。
- 3、将锯断面先后用 180 粒，400 粒水砂在顶磨机上磨平。
- 4、侵蚀时，将磨面侵入混合酸中来回移动 2 分钟取出，洗净吹干。
- 5、逐块观察，分析，比较各种凝固条件下的剖面组织，画出粗视示意图。

## 五、注意事项

- 1、浇注时注意安全，防止烫伤，当金属的坩埚有熔渣时，倾注时需用铁板挡住，液体注入金属模时须连续，不能断续或停歇。
- 2、预习实验时应参看有关参考书。

## 六、实验报告要求

- 1、实验原理
- 2、画出所观察的组织
- 3、分析冷却条件对铸锭组织的影响。

## 实验 10 典型焊接接头显微组织分析（2 学时）

### 一、实验目的

- 1、认识常见的焊接缺陷
- 2、了解碳钢焊接接头的显微组织及其对性能的影响

### 二、实验原理

如果将焊接接头区域的金属制成金相试样，在显微镜下观察，这部分的显微组织是各不相同，十分复杂的。现以低碳不易淬火钢焊接接头为例，其典型组织特征如下（图 10-1）。

#### 1、焊缝区

其组织决定于焊接材料，焊条类型，焊接方法和焊接规范等。低碳钢的焊缝金属含碳量很低，故二次结晶后的组织大部分是 F+少量 P。因结晶时各方向冷却速度不同，垂直于熔合线方向的冷却速度最大，所以晶粒由垂直于熔合线向熔池中心生长，最终呈柱状晶。柱状 F 晶粒十分粗大。此外，焊缝中的一部分 F 还可能具有 W 的形态。

#### 2、热影响区

热影响区可分为焊合区、过热区、正火区和部分相变区。

##### （1）熔合区

熔合区是焊基体的交界区，相当于加热到固相线和液相线之间的区域。由于该区域温度高，基体金属部分熔化，所以也称为半熔化区，熔化的金属凝固成固态铸态，到时有接头断面变化，将引起应力集中，从而影响接头性能。见图 10-1 中的 1 区。

##### （2）过热区

过热区是热影响区中最高加热温度在  $1100^{\circ}\text{C}$  以上至固相线温度区间的区域（图 10-1 中 2 区）该区域在焊接时，由于加热温度过高，奥氏体晶粒急剧长大，形成过热组织，所以也称为“粗晶区”，冷却以后形成粗大的铁素体和珠光体组织，甚至还形成魏氏组织。因而过热区是热影响区中力学性能最差的部位。

##### （3）正火区

正火区是指热影响区中加热温度在  $\text{Ac}_3$  到  $1100^{\circ}\text{C}$  之间的区域。该区温度较高，加热时间较短，晶粒不容易长大。该区的组织比退火状态的母材细小，其力学性能优于母材。（图 10-1 中 3 区）

##### （4）部分相变区

部分相变区是指热影响区中加热温度在  $\text{AC}_1$ - $\text{AC}_3$  之间的区域，焊接加热时，首先珠光体向

奥氏体转变，随着温度的进一步升高，部分铁素体逐步向奥氏体中溶解，温度越高，溶入越多，至  $AC_3$  时，全部转变为奥氏体，焊接加热时，由于时间短，该区只有部分铁素体溶入奥氏体，而未溶的铁素体则晶粒长大，变成粗大的铁素体组织（图 10-1 中 4 区）。该区由于组织不均匀，力学性能稍差。

### 三、实验仪器设备

低碳钢焊接接头样品、切割机、显微镜、显微硬度计等。

### 四、实验内容、实验说明

#### 1、焊接接头显微组织分析的步骤

- (1) 选择具有代表性的部位割取样品
- (2) 样品的制备与腐蚀
- (3) 用显微镜研究样品的显微组织

#### 2、焊缝熔化区，热影响区及基体的显微组织

切取一个熔化焊的焊接接头，制成宏观试样，经 4% 硝酸酒精侵蚀后，肉眼可以清楚地看到焊接接头可以分为三个部分：

- 1、中心头焊缝区
- 2、靠近焊缝的热影响区
- 3、边为未受影响的母材金属

### 五、操作方法

- 1、样品在抛光后未经腐蚀时，即在 100-150 倍显微镜下观察，一般可以确定样品的加工质量以及寒风金属上非金属夹杂物污损的程度，存在起空中及在基体组织和熔合边界上的氧化膜、裂纹和未焊透的孔洞等。
- 2、样品经侵蚀后在显微镜（150-300 倍）下进行全面分析，此时可以确定组织的一般性质，晶粒大小及近似含碳量，较高倍数下（500-1000 倍）下可以确定组织类型及特点。
- 3、将已制备好的样品打显微硬度，可确定热影响区各段及基体的显微组织。

### 六、实验报告要求

- 1、试验目的
- 2、绘出 45 号钢焊接接头各区段显微组织示意图（焊条钢芯为 H08）
- 3、本次实验体会

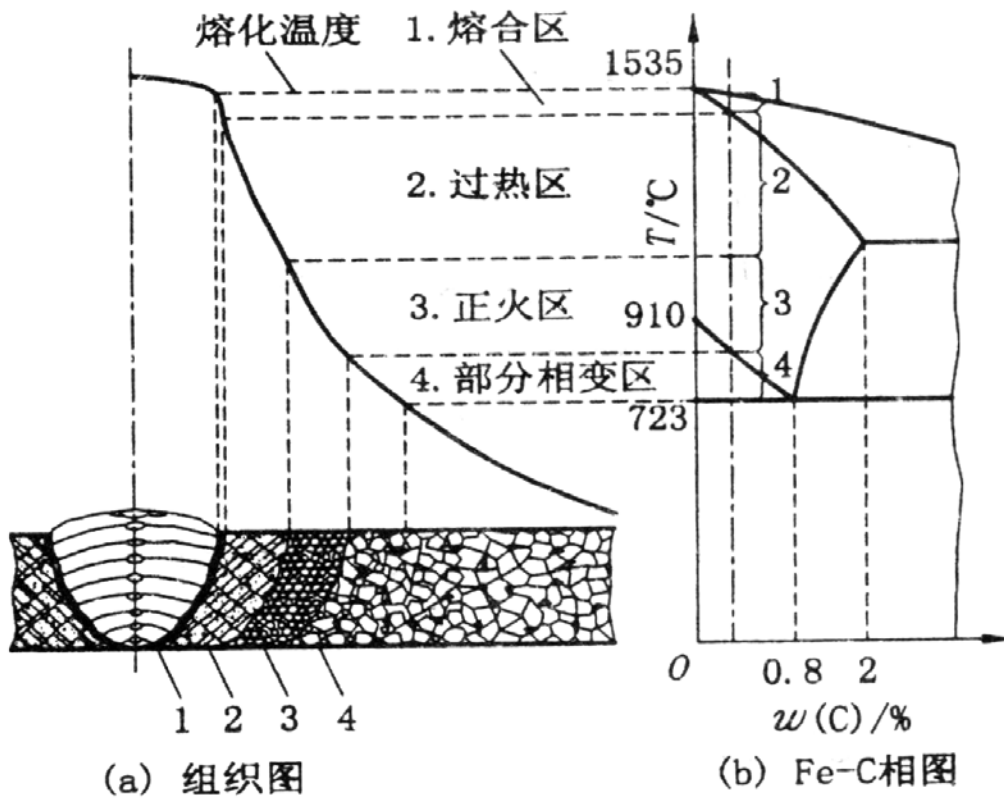


图 10-1 低碳钢焊接热影响区的组织变化

## 实验 11 冲压模具的结构分析与拆装 (2 学时)

### 一、实验目的

- 1、了解冲压模具的结构、组成及各部分的作用。
- 2、了解冲压模具的凸、凹模的一般固定方式。
- 3、掌握正确拆装冲压模具的方法。

### 二、实验原理

板材进行压力加工以获得合格工件的工具。在冲压过程中，模具的凸模和凹模直接接触被加工材料并相互作用，是其产生塑性变形从而形成预期的工件形状，因此要求：

- (1) 冷冲压模具应具有足够的强度、刚度和相应的形状、尺寸精度；
- (2) 冷冲压模具的主要零件要有足够的耐磨性及使用寿命；
- (3) 冷冲压模具的结构应确保操作安全、方便，便于管理很维修；
- (4) 冷冲压模具应有使用材料顺利送进、工件取出方便、定位可靠的装置，以保证生产的工件质量稳定；
- (5) 为使冷冲压模具合模准确，一般需要有导向装置；
- (6) 冷冲压模具零件应用良好的结构工艺性，以似加工个装配尽可能简单，并用尽量采用标准件、通用件，以压缩模具的制造周期，降低成本；
- (7) 冷冲压模具的结构、尺寸应与所选压力机的主要技术参数相适应
- (8) 冷冲压模具应有与压力机连接的部位，有搬运吊装部位，以适应装配和管理的需要。

#### (一) 冷冲压模具种类

- (1) 按工艺性质分为冷裁模、弯曲模、拉伸模、成型模等；
- (2) 按工艺组合分为单工序模、复合模、连续模等；
- (3) 按材料送进方式分为手动送料模、半自动送料模、自动送料模；
- (4) 按使用范围分为通用模和专用模；
- (5) 按导向方式分为无导向模、板式导向模、滚动导向模等。

通常按工艺和工序组合分类。如冲孔模、翻边模、落料—拉伸复合模等。

#### 1、冷冲压模具结构

通常分外如下五个部分

- (1) **工作零件：**冲模的工作零件是凸模和凹模。在复合模中还有凹凸模。它们互相配合，完成对胚料的成型。它们的形状、尺寸精度、固定方法及材质处理等决定着冲模的

性能、模具成本及使用寿命。

- (2) **辅助装置：**是协助凸模、凹模完成工艺成型必不可少的装置。如材料送进的定向定位装置、废料排除装置、卸料退件装置等。它们的结构形式对工件质量、操作安全、生产效率等都非常重要。辅助装置是冷冲压模具设计不可忽视的重要部分。
- (3) **导向装置：**是保证上模、下模准确合模装置。要求工作可靠，导向精度好，有一定互换性。导向装置目前一基本标准化，并有商品供应。
- (4) **支承零件：**是指上模架和下模架。凸模、凹模和其它所有的零件安装在其上组成一个模具整体。它们与压力机连接，传递并承受着工作压力。
- (5) **紧固零件：**中小型模具大多采用沉头螺钉和销作为可卸式连接；有些凸模、凹模的连接则采用粘接或底熔点合金连接；大型模具的刃口或支架也有采用焊接方式的。

### 三、实验内容和步骤

本实验要求完成拆装落料—冲孔复合模、拉伸模、连续模各一副。

实验步骤如下：

- 1、打开上、下模，认真观察模具结构，并拟订拆装方案，经指导老师认可后方可进行拆装工作。
- 2、按所拟拆装方案拆卸模具。
- 3、对照实物画出模具装配图（草图），标出各零件的名称。
- 4、分析各零件的作用和结构特点、设计中应特别考虑的问题。
- 5、画出工作零件的零件图，分析工件图和排样图。
- 6、观察完毕将模具各零件擦拭干净、涂上机油，按正确装配顺序装配好。
- 7、检查装配正确与否，整理清点拆装用工具。

### 四、实验报告要求

- 1、画出一副模具的装配图和工作零件零件图。
- 2、模具结构分析
  - (1) 分析工件图和排样方式；
  - (2) 分析模具的结构特点；
  - (3) 详细说明模具的动作过程；
  - (4) 该模具结构有无可改进之处？如需改进，则提出改进方案。

### 五、注意事项

- 1、实验前必须认真预习实验指导书，整个过程严格按照要求进行。
- 2、在拆装模具时不能乱打乱敲，严禁野蛮拆装。
- 3、拆下的零件要按先后次序放好，装配时则按照拆卸的反顺序进行，以防止漏装或错装零件。



## 实验 12 钢的淬透性测定（2 学时）

### 一、 实验目的

- 1、用末端淬火法测定 45 钢和 40Cr 钢的淬透性曲线。
- 2、了解合金元素 Cr 对钢淬透性的影响。

### 二、 实验原理

钢的淬透性是指钢经奥氏体化后接受淬火的能力，通常用淬透性曲线、淬透层深度或临界直径来表示。淬透层深度的判定标准多采用由表面至半马氏体区（即该层上 50%马氏体和 50%非马氏体组织组成）。

影响钢的淬透性的主要因素是奥氏体的化学成分，奥氏体的晶粒大小及其均匀程度。其中奥氏体的化学成分影响最大，溶入奥氏体的大多数合金元素（除 Co 外）都增加过冷奥氏体的稳定性，降低临界冷却速度，提高钢的淬透性。

测定钢的淬透性的方法通常有末端淬火法、断口法、临界直径法。本实验采用末端淬火法。

#### 末端淬火法：

按 GB225-63 标准规定，测定淬透性曲线的试样坯料先经正火再车削成端淬标准试样。将试样在电炉中加热到淬火温度，保温 30 分钟（为防止加热时的氧化脱碳。试样用生铁粉保护）。试样从炉子中取出后，放在末端淬火支架上并迅速从下向上喷水冷却试样末端 10—20 分钟。待冷却结实后，将其园柱表面相对 180 度的两边各磨去 0.2—0.5mm，然后将试样放在夹具中沿磨制平面的中心线由冷却端面开始每隔 1.5MM 测定硬度（HRC）各一次，当硬度下降平稳时，直至离端面所需的位置为止。

以硬度（HRC）为纵坐标，距水冷端的距离（mm）为横坐标，按测得的数据作图——淬透性曲线。淬透性值以 HRC/d 表示，表示距水冷端的距离 d 处的硬度值（HRC）。

图 12-1 和图 12-2 分别示出了末端淬火实验装置示意图和淬透性曲线与钢的 CCT 图的关系。

### 三、 实验设备及步骤

1. **设备：**热处理炉，末端淬火装置，铬氏硬度计，钢皮尺和砂纸等。
2. **实验步骤：**全班分两大组，分别测定 45 钢和 40Cr 钢的淬透性。

（1） 每小组领取一试样，放入热处理炉中进行加热。45 钢加热温度为 830℃—850℃，40Cr 钢为 840℃—860℃。在保温期间熟悉末端淬火装置的操作，并调节喷水口喷出水柱自由高度为 65mm±5mm。

（2） 保温结实后自炉中取出试样，末端淬火试样在淬火支架上淬火。

(3) 将淬过火的试样用砂纸磨光两侧面，按规定打纵向硬度。

#### 四、实验报告要求

- 1、将全班的实验数据集中于表 12-1 中，求其平均值，分别作出 45 钢和 40Cr 钢的淬透性曲线。
- 2、比较两中材料的淬透性，用淬透 值表示，并简要分析合金元素 Cr 对提高淬透性的作用。

表 12-1 末端淬火数据记录表

HRC 材料	离试样末端的距离 (mm)												
	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	12	15	18	21	24	27	30
45 钢													
40Cr 钢													

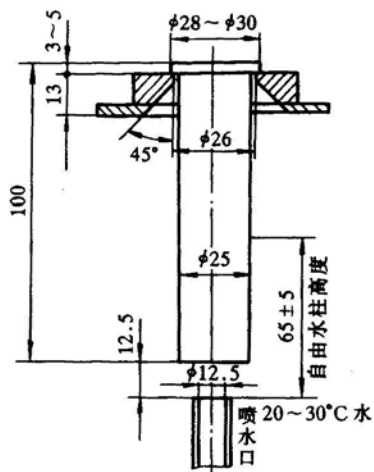


图12-1 末端淬火示意图

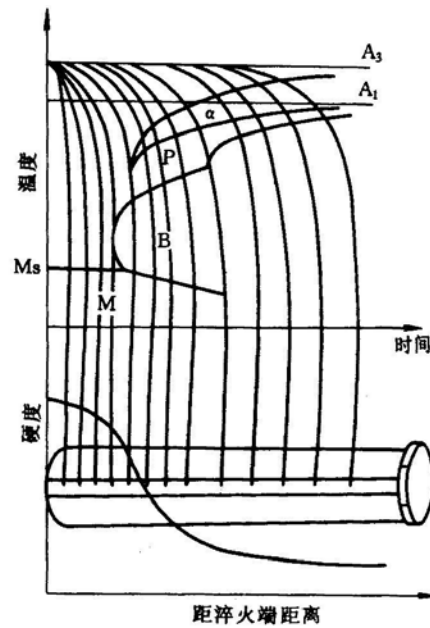


图12-2 端淬曲线与CCT曲线的关系

## 实验 13 钢的热处理及热处理后的显微组织与性能 (4 学时)

### 一、实验目的

- 1、熟悉钢的几种基本热处理操作 (正火、退火、淬火、回火等)。
- 2、了解加热温度、冷却速度、回火温度等主要因素对碳钢性能的影响。
- 3、观察碳钢热处理后的显微组织。
- 4、了解热处理工艺对钢的组织 and 性能的影响。

### 二、概述

钢的热处理就是利用钢在固态范围内的加热、保温和冷却,以改变其内部组织、从而获得所需的物理、化学、机械和工艺性能的一种操作。热处理的基本操作有退火、正火、淬火和回火等。进行化学热处理时,加热温度、保温时间和冷却方式是最重要的三个基本工艺参数。正确选择这三者的规范是热处理成功的基本保证。

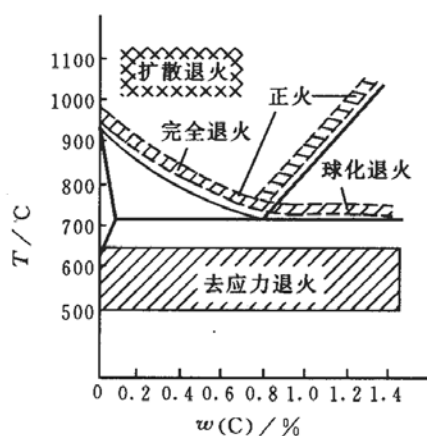


图 13-1 退火和正火的加热温度范围

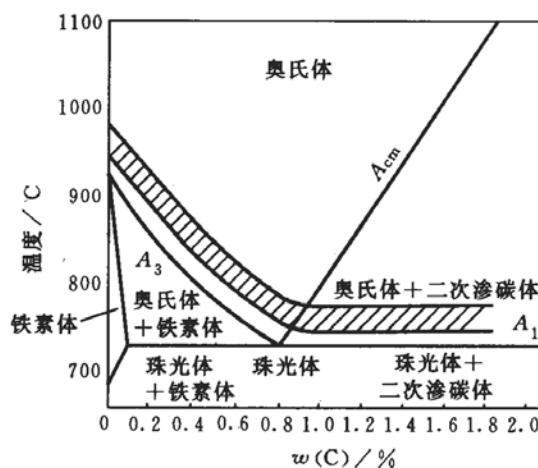


图 13-2 淬火的加热温度范围

### 1、加热温度的选择

退火、正火和回火加热温度的选择如图 13-1、图 13-2 所示。

#### (1) 退火加热温度

一般亚共析钢加热至  $A_{C3}+$  ( $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ) (完全退火), 共析钢加热至  $A_{C1}+$  ( $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ) (球化退火), 目的是得到球状的渗碳体, 降低硬度, 改善高碳钢的切削加工性能。

#### (2) 正火加热温度的选择

一般亚共析钢加热到  $A_{C3}+$  ( $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ), 共析钢加热至  $A_{CCm}+$  ( $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ) (球化退火), 即加热到奥氏体单相区。

### (3) 淬火温度的选择

一般亚共析钢加热到  $A_{C3} + (30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C})$ ，共析钢和过共析钢加热至  $A_{C1} + (30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C})$ 。

### (4) 回火温度的选择

钢淬火后都要回火，回火温度决定于最终所需的组织和性能，按加热温度的高低回火分为三类：

#### ① 低温回火：

在  $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$  的回火称为低温回火，所得组织为回火马氏体，硬度约为 60HRC。其目的是降低淬火应力，减少钢的脆性并保持钢的高硬度。低温回火常用于高碳钢制造的切削刀具、量具和滚动轴承件。

#### ② 中温回火：

在  $350^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$  的回火称为中温回火，所得组织为回火屈氏体，硬度约为 40HRC—48HRC。其目的是获得高的弹性极限，同时有高的韧性，主要用于碳含量在 0.5%—0.8% 的弹簧钢的热处理。

#### ③ 高温回火：

在  $500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$  的回火称为高温回火，所得组织为回火索氏体，硬度约为 25HRC—35HRC。其目的是获得一定强度、硬度，又具有良好的冲击韧性的综合机械性能。所以把淬火后经高温回火的处理称为调质处理，主要用于中碳结构钢。

## 2、保温时间的确定

为了使工件内外各部分温度约达到指定温度，并完成组织转变，使碳化物溶解和奥氏体成分均匀化，必须在淬火加热温度下保温一定的时间。通常将工件的升温和保温所需时间算在一起，统称为加热时间。

热处理加热时间必须考虑许多因素，例如工件的尺寸和形状，使用的加热设备及装炉量、装炉时炉子的温度、钢的成分和原始组织，热处理的要求和目的等。

实际工作中多根据经验大致估算加热时间。一般规定，在空气中升到规定温度后的保持时间，对碳钢来说，按工件厚度每一毫米需一分钟到一分半钟估算；合金钢按每毫米两分钟估算。在盐炉中保温时间则可缩短为空气介质的  $1/2 \sim 1/3$ 。

## 3、冷却方式

退火一般采用随炉冷却；正火采用空气冷却和吹风冷却（大件）；淬火冷却方式非常重要，一方面冷却速度要大于临界冷却速度以保证全部得到马氏体组织，另一方面冷却应尽量缓慢以减

少内应力，避免变形和开裂。根据不同的钢种成分工程中淬火的冷却主要有水冷、油冷、乳化液冷却和盐冷等。

#### 4、钢冷却时所得各种组织组成物的形态

- (1) 珠光体 (P)：铁素体与渗碳体的机械混合物，层片较粗。
- (2) 索氏体 (S)：铁素体与渗碳体的机械混合物，层片较珠光体更细密，在显微镜的高倍（700倍以上）放大下才能分辨。
- (3) 屈氏体 (T)：铁素体与渗碳体的机械混合物，层片较索氏体更细密，在一般的光学显微镜下无法分辨，只能看到如墨菊状的黑色组织。当其少量析出时，沿晶界分布呈黑色网状包围马氏体。析出较多时呈黑块状。只有在电子显微镜下才能分辨其中的片层。
- (4) 贝氏体 (B)：奥氏体中温转变的产物，也是铁素体和渗碳体的混合物，但其金相组织与珠光体类组织完全不同，并因钢的成分和形成温度不同而有差别。其组织形态有两种：
  - ① 上贝氏体：是由成束平行排列的铁素体条和条间断续分布的渗碳体所组成的非层片状组织。当转变量不多时，在光学显微镜下为成束的铁素体向奥氏体晶界内伸展，具有羽毛状特征。在电子显微镜下铁素体以几度到十几度的小位向差相互平行，渗碳体沿条的长轴方向排列成行。
  - ② 下贝氏体：在片状铁素体内沉淀有碳化物的混合组织，由于下贝氏体易受腐蚀，所以在显微镜下呈黑色针状，在电子显微镜下是以片状铁素体为基体，其中分布着很细的碳化物片，碳化物片的分布大致与铁素体片的长轴呈 55—60 度的夹角。
- (5) 马氏体 (M)：

碳在体心立方铁中的过饱和固溶体，有板条状和片状两类。

  - ① 板条状马氏体：在光学显微镜下，板条状马氏体的形态呈现为一束束相互平行的细长条状马氏体群，在一个奥氏体晶粒内可有几束不同去向的马氏体群。每束内的条与条之间以小角度晶界分开，束与束之间具有较大的位向差。由于马氏体的形成温度较高，在形成时常有碳化物析出，产生自回火现象，故在金相试验时易被腐蚀呈较深的颜色。在电子显微镜下，马氏体群是由许多平行的板条所组成。板条状马氏体的亚结构为高密度的位错。含碳量低的奥氏体形成的马氏体呈板条状，故板条状马氏体又称低碳马氏体，因亚结构为位错又称位错马氏体。
  - ② 片状马氏体：在光学显微镜下，片状马氏体呈针状或竹叶状，片间有一定的角度，其立体形态为双透镜状。因形成温度较低，没有自回火现象，故组织难以腐蚀所以颜色较浅，

在显微镜下呈白亮色。其亚结构为孪晶。含碳量高的奥氏体形成的马氏体呈片状，故片状马氏体又称高碳马氏体。根据亚结构，又称孪晶马氏体。

马氏体的粗细取决于淬火加热温度、奥氏体晶粒的大小。高碳钢在正常淬火温度下加热，淬火后得到细针状的马氏体，在光学显微镜下呈布纹状，仅能隐约见到针状，故又称为隐晶马氏体。如淬火温度较高，奥氏体晶粒粗大，则得到粗大的马氏体组织。

#### (6) 残余奥氏体 (Ar):

当奥氏体中碳含量大于 0.5%时，淬火时总有一定量的奥氏体不能转变为马氏体。而保留到室温，这部分奥氏体即为残余奥氏体。它不易受硝酸酒精溶液的浸蚀，在显微镜下呈白亮色，分布在马氏体之间，无固定形态，淬火后未经回火时，残余奥氏体与马氏体很难区分，都呈白亮色。只有回火后才能分辨出马氏体间的残余奥氏体。

### 5、钢淬火回火后的组织

淬火钢经不同温度回火后，所得的组织通常分为三种：

(1) 回火马氏体是淬火钢在 150℃~250℃之间进行低温回火时，马氏体内析出碳化物，这种组织称为回火马氏体。与此同时，残余奥氏体也开始转变为回火马氏体。在显微镜下回火马氏体仍保持针（片）状形态。因回火马氏体易受浸蚀。所以为暗色针状组织。回火马氏体具有高的强度和硬度，而韧性和塑性较淬火马氏体有明显改善。

(2) 回火屈氏体是淬火钢在 350℃~500℃进行中温回火，所得的组织是铁素体与粒状渗碳体组成的极细密混合物，组织特征是，铁素体基本上保持原来针（片）状马氏体的形态，而在基本上分布着极细颗粒的渗碳体，在光学显微镜下分辨不清，为黑点。但在电子显微镜下可观察到渗碳体颗粒。回火屈氏体有较好的强度，最佳的弹性，韧性也较好。

(3) 回火索氏体是淬火钢在 500℃~650℃高温回火时所得到的组织。它是由粒状渗碳体和等轴形铁素体组成的混合物，在光学显微镜下可观察到渗碳体小颗粒，它均匀分布在铁素体中，此时铁素体经再结晶已消失针状特征，呈等轴细晶粒。回火索氏体组织具有强度、韧性和塑性较好的综合机械性能。

### 三、实验内容

- 1、按表 13-1 所示的工艺进行热处理操作实验。
- 2、测定热处理后试样的硬度（炉冷试样测 HRB、其余测 HRC）。
- 3、观察表 13-2 中样品的显微组织。

### 四、实验步骤

- 1、全班分成两组，每组一套 45 钢试样 8 块，炉冷试样由实验室事先处理好。
- 2、将 45 钢试样分别放入 860℃和 750℃炉子内加热，保温 15min~20min 后，分别进行水冷、油冷、空冷操作。
- 3、每组将水冷试样中各取出三块分别放入 200℃、400℃、600℃的炉内进行回火，回火保温时间为 30min。
- 4、淬火时，试样要用钳子夹住，动作要快，并不断在水或油中搅动，以免影响热处理质量。取放试样时要事先将炉子电源关闭。
- 5、热处理后的试样用砂纸磨去两端面氧化皮，然后测定硬度（HRC 或 HRB）。
- 6、每个同学都将自己测定的硬度值填入表 13-1 中（每个试样打三点），并记下实验的全部数据资料，以供分析。
- 7、观察表 7-2 中样品的显微组织。
- 8、画出所观察样品的组织示意图，并注明材料、处理工艺、放大倍数、组织名称、腐蚀剂等。

### 五、 验报告要求

- 1、写出实验目的。
- 2、列出全部实验资料，填表 13-1（将 HRC、HRB 的数值换算成 HB）。
- 3、分析淬火温度、淬火介质及回火温度对 45 钢性能（硬度）的影响，画出它们同硬度的关系曲线，并根据铁碳相图，C 曲线（或 CCT 曲线）和回火时的转变阐明硬度变化的原因。
- 4、画出所观测样品的显微组织图，标上组织组成物，说明组织特征。

表 13-1 热处理实验任务表（45 钢）

热处理工艺			硬度值 HRC 或 HRB				转成 HB	备注
加热温度	冷却方法	回火温度	1	2	3	平均		
860℃	炉冷	---						
	空冷	---						
	油冷	---						
	水冷	---						
	水冷	200℃						
	水冷	400℃						
	水冷	600℃						
750℃	水冷	---						

表 13-2 热处理实验任务表 (45 钢)

样品编号	材料	热处理工艺	腐蚀剂	显微组织
1	45 钢	860℃空冷	4%硝酸酒精	S +F
2	45 钢	860℃油冷	4%硝酸酒精	M+T
3	45 钢	860℃水冷	4%硝酸酒精	M
4	45 钢	860℃水冷+600℃回火	4%硝酸酒精	S <sub>回</sub>
5	T12 钢	760℃球化退火	4%硝酸酒精	P <sub>粒</sub>
6	T12 钢	760℃水冷+200℃回火	4%硝酸酒精	M <sub>回</sub> +Fe <sub>3</sub> C <sub>II</sub> +Ar
7	T12 钢	1100℃水冷	4%硝酸酒精	M+ A <sub>r</sub>



## 实验 14 渗碳目的及渗碳淬火后组织观察

### 一、 实验目的

1. 掌握利用金相显微镜测定渗碳层深度的方法。
2. 熟悉渗碳缓冷及淬火金相组织。

### 二、 实验原理

渗碳是一种重要的化学热处理工艺，它通过改变表面的化学成分（含碳量）来达到所希望的机械性能，主要用于要求表面硬度和心部韧性的机械零件。汽车齿轮就是一种典型的渗碳零件，渗碳淬火后使之表面具有高强度、耐磨性及高的接触疲劳强度，同时能保证心部具有足够的强度和韧性，在受冲击时不至于断齿，从而保证齿轮具有较长的使用寿命。

常用的渗碳钢含碳量为 0.10%--0.25%之间，为低碳钢。渗碳温度为 920℃--940℃，渗碳时表面碳浓度控制在 0.8%--1.05%之间，渗层的深度示零件的实际要求而定。

碳素钢（15、20 钢等）经渗碳淬火后，表面能获得较高硬度的马氏体，但受淬透性的影响，其心部通常为铁素体+珠光体组织；由于渗碳温度高，晶粒粗大，渗碳后不能直接淬火，须缓冷然后重新加热淬火，再低温回火。其最后组织：表面为回火马氏体+少量碳化物+残余奥氏体；心部为铁素体+珠光体。

合金渗碳钢（20CrMnTi 等）渗碳淬火后，表面获得高硬度的马氏体+过剩碳化物+残余奥氏体。由于淬透性好，心部可获得低碳马氏体。合金渗碳钢为本质细晶粒钢，在渗碳温度下，奥氏体晶粒仍保持细小，故一般渗碳后可直接预冷到淬火温度进行淬火、然后回火。

为了控制渗碳工艺及质量，常常需检查渗碳层的深度及淬火组织。

渗碳层深度的测定：通常采用显微分析方法，将渗碳试样自炉中取出，缓冷至室温，得到平衡组织。一般渗碳缓冷后的金相组织，从表面到心部的变化为：过共析组织（Fe<sub>3</sub>C+P）→共析组织（P）→过渡亚共析组织（P+F）→原始基体组织（P+F）。

对于碳素钢一般表面到过渡区含碳量（0.40%--0.45%）为止作为渗碳层深度。即从表面过共析到共析再到过渡亚共析区（铁素体和珠光体各占 50%面积）为止。

对于合金钢，一般以表面到基体组织出现为止作为渗碳层深度。

### 三、 实验设备及试样

- 1、设备：金相显微镜（配备带刻度的目镜）、测微尺。
- 2、试样：20 钢或 20CrMnTi 钢渗碳退火试样和渗碳淬火试样若干。

### 四、 实验步骤

1、 20（20CrMnTi）钢渗碳层深度的测定：

(1) 确定测微目镜中每格的实际尺寸

由于测微目镜中每一刻度随放大倍数的变化而变化，所以在一定的放大倍数下，必须与标准的测微尺相对照，确定测微目镜中每格的实际尺寸后才能最后测量渗碳层的深度。

在显微镜下放入标准测微尺（1mm=100格），然后测定测微目镜上每一刻度的实际尺寸。若标准测微尺的100格（1mm长度）在测微目镜中所占的格数为60格，则测微目镜中每格的长度为：

$$1\text{mm} \div 60 (\text{格}) = 0.016 (\text{mm} / \text{格})$$

(2) 用已标定的测微目镜测定渗碳层深度。

五、 实验报告及要求

- 1、 简述实验原理。
- 2、 将所层的数据填入表 14-1。
- 3、 画出 20 钢（20CrMnTi 钢）渗碳缓冷（退火）和淬火的金相组织。

表 14-1

钢号及工艺	金相组织		渗碳层深度 (mm)
	表面	心部	
20 钢渗碳缓冷			
20 钢渗碳淬火			-----
20CrMnTi 钢 渗碳缓冷			
20CrMnTi 钢 渗碳淬火			-----

## 实验 15 一次摆锤冲击弯曲试验（2 学时）

### 一、实验目的

- 1、熟悉和了解一次摆锤冲击实验机的结构和使用方法。
- 2、知道梅氏冲击试样与冲击实验机和夏氏冲击试样与冲击实验机及其差别。
- 3、掌握用系列冲击方法测定冷脆转化温度。
- 4、了解影响冲击数据的主要因素。

### 二、简述

一次摆锤冲击试验由于使用方便，对于检验材料品质内部缺陷、脆性转化情况和工艺质量等方面具有比其它试验方法更为敏感的优点，故在生产上和科学研究上广泛使用。

#### 1、试验机

一次摆锤试验所用的试验机较为简单。一般由机身、摆锤、测能度盘、机械扬摆机构和摆轴制动机构等主要部分组成。以 JB-30 型试验机为例，对其构造特点简单介绍如下：

- ① 支撑试样的支座由对称的两块组成，调节两块间距离即可决定冲弯的跨距；
- ② 摆锤上带有冲击刀口，正对着支座方向。根据需要可选取两种不同的摆锤，其冲击能量分为 294J 和 147J。
- ③ 摆锤的提取、挂摆和释放等动作由扬摆机构通过操作按钮控制
- ④ 冲断试样后通过指针在刻度盘上停留的位置可直接读出冲击功的大小。
- ④ 最大冲击能量 294J。摆锤扬角 135 度，试样中心主摆轴轴心距离 800mm，冲击速度 5.2m/s，试样支座跨距分别为 40mm 和 70mm。

#### 2、试样

一次摆锤冲击弯曲试验目前常用有梅氏和夏氏两种冲击试样，试样尺寸及要求见 GB229-84 和 GB2106-80，其中夏氏冲击试样开 U 型缺口而梅氏试样开 V 型缺口，如图 15-1、15-2 所示。为了保证试样的几何形状和尺寸要求，要先对试样有尺寸及形状要求的四个平面进行磨制，然后再用安装式型砂轮开出缺口（对于硬度不高的材料，其缺口也可用刨削或钻削加工）。最后保证横截面四角应为  $90^{\circ} \pm 0.5'$ ，缺口轴线与试样纵轴角应为  $90^{\circ} \pm 0.2'$ 。

### 三、一次摆锤冲击弯曲试验的几种方法

#### 1、金属常温冲击韧性试验：

金属常温冲击试验根据国家标准 GB229-84 和 GB2106-80。所用试样规定以梅氏试样或夏氏试样作为冲击韧性试验标准试样。不同试样冲击值不能相互换算。冲击韧性  $a_k$  为：

$$a_k = A_k / F \text{ (J/cm}^2\text{)}$$

式中： $A_k$  --- 击断试样所消耗的冲击功； $F$  --- 试验前试样缺口处的横截面积。

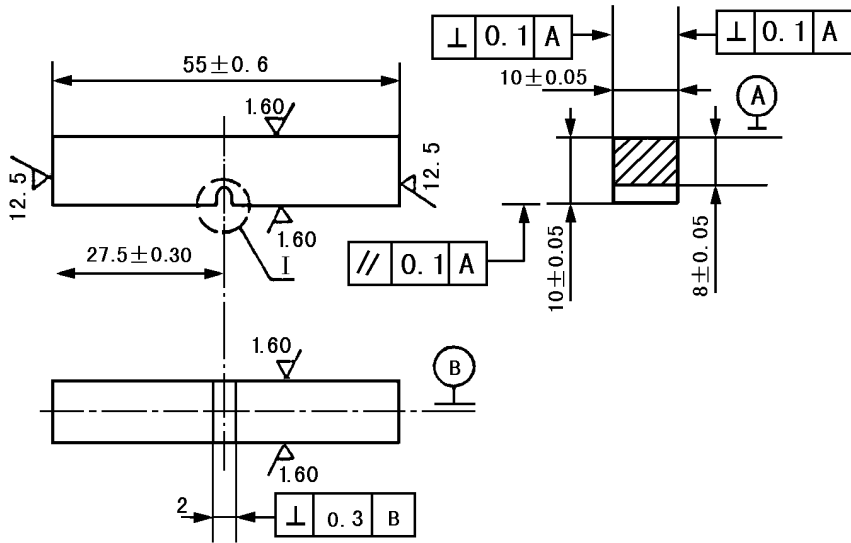


图15-1 夏氏缺口冲击试样

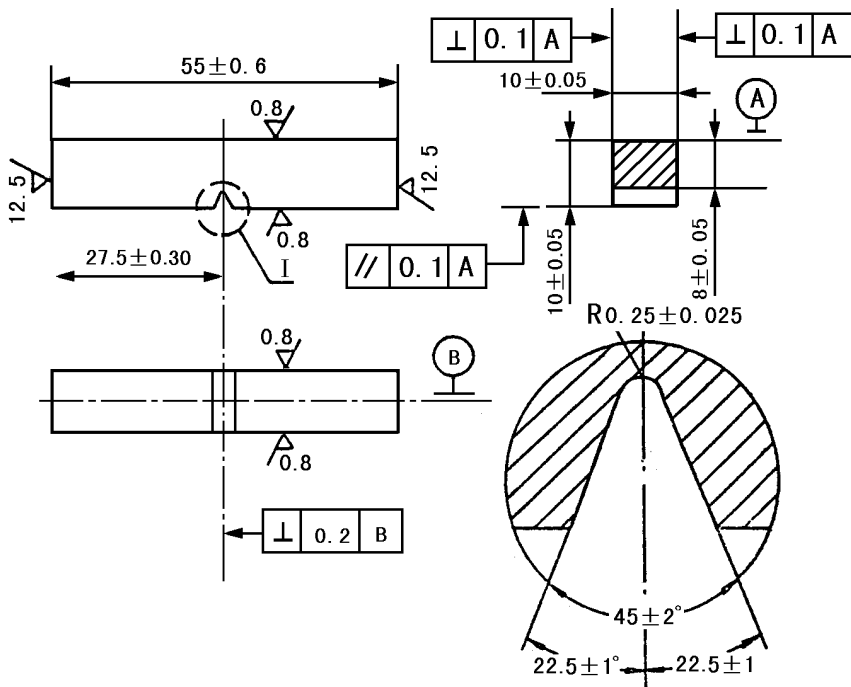


图15-2 夏氏V型冲击试样

## 2、金属低温冲击韧性试验：

所用试样与试验机完全同于常温冲击，只是在低于室温的任一温度下（常用 $0^{\circ}\text{C} \sim -100^{\circ}\text{C}$ ）将试样放在装有低温的容器内保温，试样在规定的试样温度下保温时间不少于15分钟。在将不同温度的试样放在同一箱内冷却时，第一个试验温度的保温时间仍不少于15分钟，下

一个试验温度的变化不大于 10℃。允许下一个试验温度到温后，保温时间可缩短到 10 分钟，如温度变化不大于 5℃则可为 5 分钟。

冷却液或控制试样的温度低于规定的试验温度，其过冷度的大小取决于室温于试验温度之差。如室温为 20℃±5℃时试样取出保温箱随即正确的安装在试验机上到摆锤打击试样的总时间在 5 秒内，此时一般采用的过冷度为：试验温度在 0~-60℃时 3~-4℃，试验温度低于 -60℃时 3~-4℃。

### 3、系列冲击试验及冷脆转化温度的测定：

为了表明材料低温脆性倾向的大小，需确定材料的韧性到脆性的转变温度。一种办法是测定材料低温韧性转化温度即“冷脆转化温度”。常用的冷脆转化温度表示方法有两种，一种是用 U 形缺口的眉氏冲击试样，在规定的支座尺寸及刀口尺寸的冲击试验机上进行不同温度的冲击试验，测出各种温度下的冲击值；另一种方法使用 V 形缺口夏氏冲击试样在规定的支座和刀口尺寸的冲击试验机上进行不同温度的冲击试验，然后测量试样断口上纤维韧性断口的面积与结晶状脆性断口面积的比。面积比为 50%时的相当温度称为“断口形貌转化温度”，用符号 FATT 表示。

## 四、试验设备及仪器

- 1、JB-30A 型冲击试验机。
- 2、工具显微镜及游标卡尺。
- 3、低温温度计。若 -80℃ 以上可用低温酒精温度计；若温度低于 -80℃ 则应用铬镍-康铜热电偶配以事先用内插法该换刻度的 XCZ-11 形毫伏计。
- 4、低温保温箱。

## 五、实验方法及步骤

- 1、检查试样的尺寸及表面粗糙度，注意缺口处的加工质量。
- 2、检查试验机：检查和调整拨针的位置、刹车机构、支座间距、摆锤刀刃等情况。
- 3、装好保护网。
- 4、迅速将试样取出按规定将试样放好尽快达断试样，时间一般不超过 5 秒。
- 5、读出指针读数并记录。
- 6、指针复原，刹车使摆锤停止摆动。

## 四、实验报告要求

- 1、本实验选用 20 钢（正火状态）及 T8 钢淬火、低温回火状态，测定平均值，填入表 15-1 中。

未冲断试样必要时还需记录试样的弯折角。

- 2、 根据实验数据在坐标纸上绘制冲击功—温度曲线，进一步确定冷脆转化温度  $T_K$ 。
- 3、 本实验采用  $0.4A_{kmax}$  相应的温度作为  $T_K$ ， $A_{kmax}$  值以室温下全部为纤维断口的  $A_k$  相值计算。

## 五、 实验报告

- 1、 实验目的。
- 2、 实验数据处理。
- 3、 实验结果分析
  - (1) 20 钢正火态和 T8 钢淬火态的冷脆转化曲线有何特点？
  - (2) 20 钢正火态同梅氏试样和夏氏试样所得到的冷脆转化温度是否相同？为什么？由此讨论冷脆转化温度的意义和实际应用中注意的问题。

表 15-1

试样编号	试验温度 (°C)	支座宽度 (cm)	缺口截面积 (cm <sup>2</sup> )	冲击功 (J)	冲击韧性 (J/cm <sup>2</sup> )	备注

## 实验 16 断裂韧性 $K_{IC}$ 的测定 (4 学时)

### 一、实验目的

了解金属材料的平面应变断裂韧性测试的一般原理和方法。

### 二、概述

断裂力学研究表明,金属材料低应力脆断破坏的根源是裂纹,断裂力学的力学参量---应力强度因子  $K$  是一个描述裂纹尖端应力场强弱的物理量,即

$$K = \sigma \sqrt{a}$$

由上式可知,随着受载程度和裂纹尺寸的增加,应力强度因子  $K$  也随之增加。当  $K$  达到一定值时,裂纹自动扩展以至断裂,这时的应力强度因子就成为材料的性能指标---断裂韧性。

平面应变断裂韧性  $K_{IC}$  是材料在平面应变条件下裂纹以张开型方式扩展的应力强度因子  $K_I$  的临界值,它表征了材料抵抗裂纹突然扩张的阻力,即材料抵抗脆性破坏的能力。

断裂韧性的试样必须是带裂纹的试样,而且裂纹还需具有一定的尖度,断裂韧性试验要求满足小范围屈服和平面应变的力学条件。为满足这些条件,又需估计待测材料的断裂韧性。因此,试验的有效性往往试验前无法准确判断。试验后必须仔细进行有关试验有效性分析,以便满足力学条件。

断裂韧性测试的基本过程是:将所要测的材料制成一定形状尺寸的试样,通常采用三点弯曲试样和紧凑型试样,如图 16-1 所示。为保证平面应变和小范围屈服,要求试样有一定的厚度,通常采用的经验公式为:

$$B \geq 2.5 (K_Q / \sigma_y)^2 ; \sigma_y \text{ --- 屈服强度}$$

在试样上人为地制造缺陷---裂纹,然后加载。裂纹失稳扩展点的载荷通常是记录仪器连续地记录载荷  $P$  和裂纹咀张开位移  $V$  间接地得到的,以裂纹失稳扩张所对应的载荷  $P_Q$  计算材料的  $K_Q$ ,经过有效性判别后,得到断裂韧性

断裂韧性测定的方法比较成熟,目前世界上均以美国的 ASTM E339-74 为蓝本,我国的现行标准为 GB4161-84。

### 三、实验过程

本实验所用材料及处理与静拉伸时一致,主要是数据的处理。

#### 1、试样准备

本实验采用三点弯曲加载方式。试样经热处理后,磨削表面,用钨丝切割细缝,这样可引

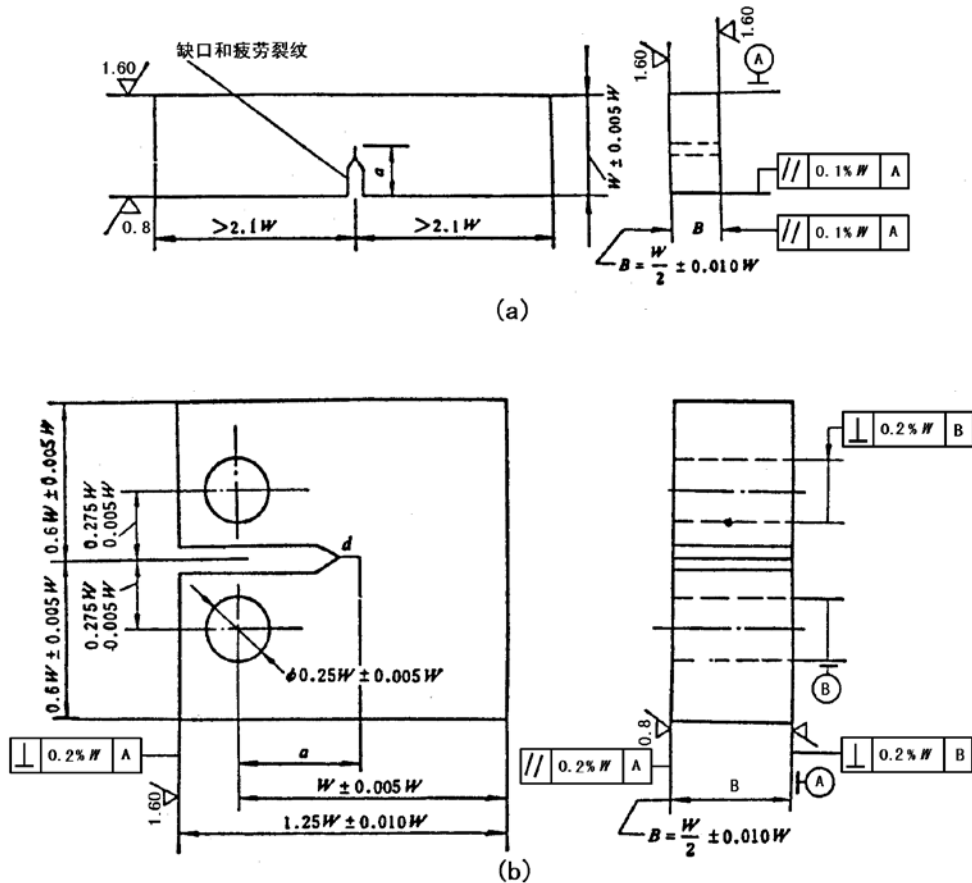


图16-1 测定 $K_{Ic}$ 用的标准试样

(a) 标准三点弯曲试样 (b) 紧凑拉伸试样

发比较平直的裂纹。引发裂纹一般在高频疲劳试验机上进行。为了保证裂纹尖端处于弹性状态，尽可能减小裂纹尖端塑性区尺寸，要求引发预制疲劳裂纹的载荷不能过高。如果引发裂纹的载荷过高，就会使裂纹尖端出现较大的塑性变形区，导致所测得  $K_Q$  偏高。通常以引发裂纹的载荷  $P$  计算出的  $K_{max}$  应不超过所测材料  $K_{Ic}$  的 60%。裂纹长度与试样高度之比应在 0.45~0.55 之间。

## 2、实验设备要求

本实验在万能材料试验机上进行，要求试验机备有相应载荷传感器、位移传感器及自动记录装置。

## 3、实验步骤

### (1) 测量试样尺寸

宽度  $B$ ：在疲劳裂纹前缘韧带部分至少在三个等间隔的位置上测量厚度  $B$ ，准确到 0.025mm 或 0.1%B，取其平均值。

高度  $W$ ：在切口附近测量三点，取其平均值，准确到 0.025mm 或 0.1% $W$ 。

### (2) 试样安装



应使切口中心线正好落在跨距的中心，偏差不得超过±1%S。试样和支承应成直角，偏差在±2°以内，装好引伸计，注意使引伸计刀口与试样刀口充分接触。

**(3) 实验操作：**

开动试验机，缓慢而均匀加载，加载速度的选择应使应力场强度因子的增加率在 17.4~87.0N/mm<sup>3/2</sup>S<sup>-1</sup> 范围内，同时记录 P-V 曲线，直至试样所能承受的最大力后停机。此外，在加载过程中，还应在 P-V 曲线上记任一初始力和最大力的数值 对 P-V 曲线上的力值进行标定。

**(4) 测量裂纹长度 a：**

试样断裂后，在 B = 0、1/4B、1/2B、3/4B、B 的位置上测量裂纹的长度 a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub>、a<sub>3</sub>、a<sub>4</sub>、a<sub>5</sub>、精确到 0.5%。取 a = (a<sub>2</sub>+a<sub>3</sub>+a<sub>4</sub>) / 3 为平均裂纹长度，用以计算 K<sub>Q</sub>，a<sub>2</sub>、a<sub>3</sub>、a<sub>4</sub> 中任两个测量值之差以及 a<sub>1</sub> 与 a<sub>5</sub> 之差都不得大于 a 的 10%。

**四、数据处理**

常见的载荷 (P) —位移 (V) 曲线有三种，如图 16-2 所示。

1、取 P<sub>Q</sub> 值

过试验曲线的载线部分作直线 OA，再作一条比 OA 直线斜率小 5% 的直线交于 P-V 曲线于 P<sub>5</sub>。若在 P<sub>5</sub> 前没有比 P<sub>5</sub> 大的载荷，则取 P<sub>5</sub> 为 P<sub>Q</sub>；若在 P<sub>5</sub> 前有一最大负荷超过 P<sub>5</sub>，则取此值为 P<sub>Q</sub> 值。

2、计算 K<sub>Q</sub> 值。

对于三点弯曲试样按下式计算：

$$K_Q = S \frac{P \cdot S}{BW^2} F\left(\frac{a}{W}\right)$$

式中：P<sub>Q</sub>---负荷；S---跨距；B---试样宽度；W---试样高度。当 S/W=4 时，

$$f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{3(a/W)^{1/2} [1.99 - (a/W)(1 - a/W) \times (2.15 - 3.39a/W + 2.7a^2/W^2)]}{2(1 + 2a/W)(1 - a/W)^{3/2}}$$

一般按 a/W 之值查表 16-1，即可得 f (a/W) 之值。

**表 16-1 标准三点弯曲试样的 f (a/W) 之值。**

a/W	f (a/W)	a/W	f (a/W)	a/W	f (a/W)
0.450	2.29	0.4850	2.54	0.520	2.84
0.455	2.32	0.490	2.58	0.525	2.89
0.460	2.35	0.495	2.62	0.530	2.94
0.465	2.39	0.500	2.66	0.535	2.99

0.470	2.43	0.505	2.70	0.540	3.04
0.475	2.46	0.510	2.75	0.545	3.09
0.480	2.50	0.515	2.79	0.550	3.14

3、 $K_Q$ 有效性的判别：必须满足下列三个条件，即

$$P_{max}/P_Q \leq 1.10 \quad \text{----- ①}$$

$$B \geq 2.5 (K_Q/\sigma_{0.2})^2 \quad \text{----- ②}$$

$$a \geq 2.5 (K_Q/\sigma_{0.2})^2 \quad \text{----- ③}$$

这里，②式是保证试样满足平面应变的条件；③式是保证裂纹尖端小范围屈服的条件。

若上述条件得以满足，则：

$$K_Q = K_{IC}$$

若上述条件不满足，则实验无效。这时需将试样尺寸加厚，重新实验。其试样尺寸为原试样的 1.5 倍。

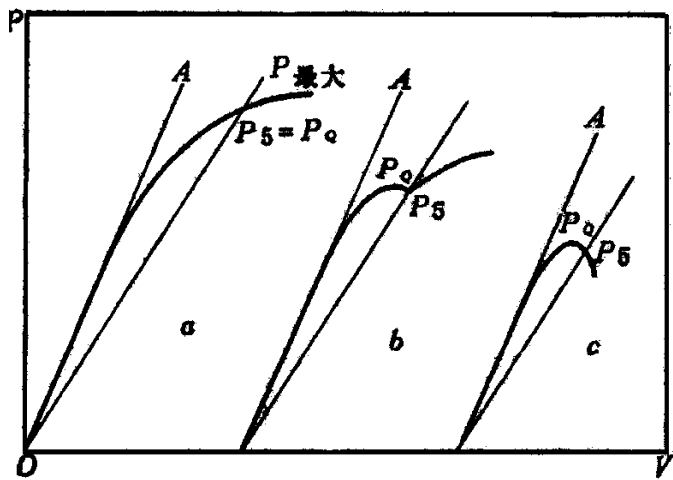


图16-2 载荷-位移曲线

## 五、原始数据记录（略）

## 六、实验仪器及设备

- 1、万能材料试验机，最大试验力 100KN，在活动横梁上配备有专门的弯曲试样支座一台。
- 2、动态应变仪一台。
- 3、应力传感器 100KN 一个。
- 4、夹式引伸计一个。
- 5、X-Y 函数记录仪一台。
- 6、位移标定器一台。
- 7、工具显微镜一台。

## 七、实验报告

- 1、实验目的；
- 2、处理实验数据
- 3、结果分析。

## 实验 17 硬度的测定 (2 学时)

### 一、实验目的

- 1、了解常用硬度计的原理、构造、适用范围、使用方法及校正方法。
- 2、用维氏硬度计测出一次冲击试样不同热处理规范的硬度值。
- 3、用显微硬度计鉴别金相组织中常见相的硬度值。

### 二、实验仪器

#### 1、布氏硬度

- (1) 原理：用一定直径的钢球压入试样表面，在规定载荷作用下保持一定时间，待卸载后测出压痕直径以求出硬度值，硬度值是指压痕的单位球形面积所承受的平均压力 ( $\text{Kg/mm}^2$ )。
- (2) 使用范围：小于 HB650 的钢材、铸铁、有色金属。由于压头材料不同，布氏硬度用不同符号表示。当压头为淬火钢球是，其符号为 HBS (适用于布氏硬度值载 450 以下的材料)；当压头为硬质合金时，其符号为 HBW (适用于布氏硬度值为 450—650 的材料)。
- (3) 硬度计的构造：目前多采用杠杆式硬度计，它是通过杠杆来传递压力，是较完善的硬度计结构。我国的 HB-30000 型基本组成为：载物台---用于放置试样；升降丝杠---使载物台能上升或下降；手轮---使丝杠上下移动；压头---淬火钢球，直径分别为 2.5、5 和 10 毫米三种；指示灯---用于表示加载过程；时间定位器---用于控制加载时间；压紧螺钉---用于固定时间定位器；加荷砝码---可组成 187.5、250、750、1000、3000 公斤等多种载荷。
- (4) 试验方法
  - ① 按表选择压头和载荷，压头的更换可松开压头旁边的压紧螺丝进行；载荷更换可按吊架本身自重、砝码上注明的重量数字跌加。
  - ② 按上表选择的时间，松开压紧螺丝，把园盘内的弹簧定位器旋转到所需的时间位置上，然后使压紧螺丝旋到刚刚松开的位置。
  - ③ 置试样于载物台上，旋转手轮使试样与压头压紧。
  - ④ 按下启动开关，并做好拧紧螺钉的准备，当加载指示灯燃亮的同时，迅速拧紧，使园盘随曲轴一起回转至自动反向和停止。从加载荷指示灯燃亮到熄灭为全载荷保持时间。

- ⑤ 确定试验结果：试验结束后，转动手轮取下试样，用读数显微镜测量试样表面压痕直径，相互垂直方向各测一次，取其平均值，然后根据公式计算或查表求出 HB 值。

注意事项：

- (1) 试样的厚度应不小于压痕深度的 10 倍，压痕直径应在 0.25—0.6D 之间，否则试验结果无效。
- (2) 5 毫米、10 毫米钢球压痕的测量准确度为 0.02 毫米，2.5 毫米的为 0.01 毫米。
- (3) 压痕中心到试样边缘的距离不应大于压痕直径的 2.5 倍，而相邻的压痕中心距离不应小于直径的 4 倍。

## 2、洛氏硬度

- (1) 原理：用金钢石圆锥或钢球，在一定压力下压入试验面，然后根据压痕深度定出硬度数值，试验时可从表上直接读出硬度值。
- (2) 应用范围：可用于测定各种钢材及金属淬火工件及硬质合金，轻荷洛氏适用于钢材渗碳、氧化等处理后的表面硬度的测定以及薄小试样。
- (3) 硬度计的构造：洛氏硬度计种类很多，外型构造各不相同，但构造原理及主要部件基本相同。
- (4) HR-150D 电动洛氏硬度计的试验方法：
  - ① 选择适合的压头及载荷。
  - ② 根据试样的形状选择载物台，一般用平面台，圆形试样要用 V 型台。
  - ③ 预加载荷：旋转手轮升高载物台使试样与压头接触，并观察表头刻度盘上的小指针，直到小指针从黑点转到红点，然后转动刻度盘调整旋钮使刻度盘的零点对准大指针。
  - ④ 按下启动电钮，硬度计自行加载、延时、卸载后，大指针指出的值即为硬度的测量值。
- (5) 注意事项
  - ① 试样表面必须清洁，无氧化皮等杂物。
  - ② 应避免试样与压头的冲击，总载荷加在试样上时不准旋转载物台手轮或卸下试样。
  - ③ 更换载物台时要用手保护好压头。
  - ④ 一般测 2—3 个点，取平均值。
  - ⑤ 压痕中心距试样边缘或试样两压痕中心距离不小于 3mm。

## 3、维氏硬度

- (1) 原理：维氏硬度是用相对夹角为 136 度的正四棱锥金刚石压头压入试样表面，以单位压痕

面积上所受的载荷来确定硬度数值。

$$HV = P/F = 2P \sin 63^\circ / d^2 = 1.855P/D^2$$

式中：HV---维氏硬度；P---载荷（Kgf）；F---四棱锥体压痕面积（mm<sup>2</sup>）；

d---压痕对角线长度（mm）；

(1) 应用范围：广泛用于测定金属薄小件及化学热处理表面层或镀层；还可根据压痕的形状观察试件脆性。脆性大时产生不规则压痕。

(2) 硬度计构造

- ① 光学测微计---压痕的测量机构，包括测微目镜及千分尺。
- ② 物镜---常用 10 倍的物镜与目镜组合成 125 倍的放大倍数。
- ③ 压头---136 度的金刚石四棱锥体，外装保护套。
- ④ 指示灯---用来指示试件承受载荷的持续时间。
- ⑤ 转盘---物镜及压头装在压盘下，转动转盘使物镜或压头正对试样。
- ⑥ 转盘手柄---用于转动转盘。
- ⑦ 载物台升降手轮。
- ⑧ 加载荷吊杆。
- ⑨ 加荷压板和卸载手轮。

(5) 试验方法

- ① 载荷选择：常用的载荷为 5、10、30Kgf。
- ② 置试样于载物台，旋转载物台升降手柄使试样表面在视域内清晰可见。
- ③ 视域内试样表面无裂痕或其它压痕，可节载物台上的螺丝来移动试样来选择区域。
- ④ 向左转动手柄使压头转到工作台中心位置。
- ⑤ 旋转手柄升起载物台至试样与压头保护套接触为止。
- ⑥ 用手压压荷压板，这时指示灯亮同时卸荷手柄慢慢升起，待指示灯熄灭，旋转载物台手轮使试样下降脱离压头。
- ⑦ 将卸荷手柄拉回压下恢复原位。
- ⑧ 将转盘转向右方使物镜对着压痕并边观察边转动手轮调整焦距使压痕清晰呈现。
- ⑨ 测量压痕对角线的长度按上式计算出 HV 值。

#### 4、显微硬度

(1) 原理：与维氏硬度相同，只是采用的载荷更小。放大倍数更高。

$$HD = 1854P/d^2$$

式中：HD---显微硬度符号；P---负荷；d---压痕对角线长度（ $\mu\text{m}$ ）；

- (2) 应用范围：用以测定金相组织中各相及组织的硬度，以及极薄、小的零件的硬度，还可以测定极硬、脆的材料的硬度。
- (3) HX—1000 型维氏显微硬度计的构造（略）。
- (4) 试验方法：
  - ① 试样制备：试样被检面须磨光或抛光，如测定显微组织硬度还须腐蚀，对细小或形状不规则的试样，放于玻璃片上的橡皮泥上，并用硬度计附带的压平机压平，然后一同置于载物台上。
  - ② 载荷选择：根据需要选择载荷大小，其原则是压痕不能超出测定的组织；载荷小则压痕小误差大，因而尽量选择大一些的载荷。HX-1000 型维氏显微硬度计的最大载荷为 200g，最小载荷是 10g。
  - ③ 打开计算机，启动显微硬度测试系统。根据需要调节所选试验参数；将试样置于载物台上，选择新取样菜单，进行粗、细调节至银屏上试样表面最清晰；按下加载按钮，硬度计自动加载，并通过物镜摄像系统将压痕显示在计算机银屏上。
  - ④ 硬度值的测量：HX-1000 型维氏显微硬度计提供了多种硬度的测量方法，可在计算机银屏上通过自动测量系统进行自动测量，也可手动方式进行手动测量，还可通过目镜测量压痕对角线的长度然后查表得出硬度值。

### 三、实验报告要求

- 1、 实验目的
- 2、 各种硬度测量原理、硬度计的构造、测量方法。
- 3、 用布氏硬度计测量所提供试样的硬度值并填如相应表格。
- 4、 测定铁素体、珠光体和淬火低碳马氏体组织的显微硬度。

## 实验 18 金属材料的静拉伸实验（2 学时）

### 一、 实验目的

- 1、 了解普通万能材料试验机、引伸计和其它主要福建的工作原理、技术要求及一般操作方法。
- 2、 初步掌握拉伸实验中各种主要性能指标的测定方法及部分指标的实测。

### 二、 概述

静拉伸实验是材料性能测定的最常见的测试方法之一，其不仅可掌握材料的断裂特性，测定各中强度性能指标，而且可获得延伸铝和断面收缩率等塑性指标，在工程中应用最为广泛。为使实验所获得的性能指标具有普遍的意义，实验（包括实验环境、加载方法、试样等）必须在规定的标准条件下进行。

### 三、 实验所用设备简介

#### 1、 加载及载荷测量系统（实验机）

用于拉伸实验的实验机一般有机械式、液压式和电侍服式实验机等，各种类型的实验机原理、结构及操作方法有所不同。对于最常见的液压式拉伸实验机，为了保证实验结果的精确，必须满足下列技术要求：

- (1) 测力示值的误差不大于 $\pm 1\%$ 。
- (2) 在规定的负荷下施加载荷时，实验机操作应能精确到测力盘上的最小分格，负荷示值应能保持不少于 30 秒。
- (3) 负荷指示灵敏。
- (4) 加载平稳。
- (5) 实验机及其夹持装置应保证试样轴向受力。
- (6) 实验机备有调速指示装置。
- (7) 采用绘图测定强度特性时负荷坐标每毫米所代表的应力不大于 9.8MPa。

#### 2、 实验变形测量及记录装置

- (1) 对于要求不高的变形测量，可直接利用实验机上的动夹头，用试样受力时的位移来表示。但由于此法将试样标距以外的变形和实验机机架本身的弹性变形全部加到试样的变形上，增加了试样变形测量的误差。
- (2) 对于要求精度较高的变形的测量必须使用引伸计。引伸计是用来测量试样在标距长度以内，在受力时长度的变化的装置，由变形传感记录器或指示装置等组成，根据精度分为五个等级。实验时可按实际需要选取。引伸计有百分表式、镜式、电阻应变片式等多种。

### 四、 试样

拉伸实验所用试样一般分为比例试样和非比例试样两种。

#### 1、 比例试样：

试样横截面一般为圆形，为使测得的延伸率充分代表材料本身的性质，一般规定试样的长度与横截面积之比必须为一常数。在我国这一常数为 5.65 和 11.3，分别代表了圆形试样标距长度与直径之比为 5：1 和 10：1 的两种试样，称为长试样和短试样。在无特殊要求时一般推荐使用短试样。

#### 2、 非比例试样：

试样的标距与其原横截面积之间无上述一定的关系，主要在薄板、薄带、细线、小截面型材或异型材实物的实验时使用。

#### 3、 试样尺寸及要求：

对圆形试样直径通常为 1~25 毫米。对于钢、铜材一般采用直径为 10 毫米的比例试样，其各部分尺寸允许偏差及表面粗糙度应满足相关的国家标准。为使试样尽可能断在标距的中间位置，而利于延伸率的测量。在加工试样时，可在其允许的公差范围内有意识地使中间部分较小而两边较大。同时，为避免试样夹头部分到试样工作部分过渡区对试验结果产生影响，规定试样平行部长度  $L > L_0 + d_0$ ，对用于作仲裁的试样  $L > L_0 + 2d_0$ ，对其它各种试样的要求详见 GB6397-86 《金属拉伸实验试样》。

#### 4、 试样尺寸的测量

圆形试样横截面直径及矩形试样横截面厚及宽度应在标距两端及中间处进行测量。选用三处测得的最小值，计算拉伸性能指标。

测量试样尺寸的量具，当横截面尺寸大于 2~10mm 时，量具最小刻度值应为 0.01mm、当横截面大于 10mm 时，其最小刻度值为 0.05mm。原始横截面积的计算应计算到三位有效数字。

试样原始标距用细划线标出，应精确到标称标距的  $\pm 0.5\%$ 。

### 五、 主要性能指标的测量方法

#### 1、 规定微量塑性伸长应力指标

根据新的标准 GB228-87，规定非比例伸长应力（ $\sigma_p$ ）、规定残余伸长应力（ $\sigma_r$ ）和规定总伸长应力（ $\sigma_t$ ）三种。

##### （1） 规定非比例伸长应力（ $\sigma_p$ ）及其测量

试样标距部分的非比例伸长达到规定的原始标距的百分比时的应力。所谓非比例伸长是指超出试验力与伸长成正比范围以外的伸长。这种试验力是在试样受力的条件下测定的，反映材料



在试验力作用下抵抗微量塑性变形的抗力。这种应力一般以附加角注表示规定非比例伸长率之值，如  $\sigma_{p\ 0.01}$ 、 $\sigma_{p\ 0.05}$ 、 $\sigma_{p\ 0.2}$  分别表示规定非比例伸长率  $\varepsilon_p$  为 0.01%、0.05% 和 0.2% 时的应力。规定非比例伸长时应力的测量有图解法和引伸计法两种方法。

① 图解法：在拉伸过程中自动记录绘制具有足够放大倍数的力—伸长曲线，曲线高度应使规定非比例伸长的力值  $F_p$  处于力轴量程的 1/2 以上，伸长放大倍数  $n$  的选择应使线段  $OC$  长度不小于 5mm。在曲线图上，自原点  $O$  起在伸长轴上截取一相应于规定非比例伸长的  $OC$  段 ( $OC = nLe\varepsilon_p$ ， $Le$  为引伸计标距， $\varepsilon_p$  为规定非比例伸长率)，过  $C$  点作弹性直线段的平行线，交曲线于  $A$  点， $A$  点所对应的力值  $F_p$  即所测定的非比例伸长力值。

$$\sigma_p = F_p/S_0$$

② 引伸计法：实验时，将试样夹持在实验机夹头内，对试样施加约相当于预期规定非比例伸长应力 10% 的预试验力  $F_0$ ，再将引伸计装卡在试样上，调节引伸计零点或以指针所指格数作为条件零点。然后用逐级施力法测出规定非比例伸长力  $F_0$ 。

### (2) 规定残余伸长应力 ( $\sigma_r$ ) 及其测量：

试样卸力后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力，以  $\sigma_{r\ 0.01}$ 、 $\sigma_{r\ 0.2}$  等表示。一般将  $\sigma_{r\ 0.01}$  视为条件比例极限，将  $\sigma_{r\ 0.2}$  作为屈服强度。严格而言，材料的  $\sigma_r$  和  $\sigma_p$  并不相同，但对于大多数金属，两者相差不大，故有时不加区别。规定残余伸长应力是在卸力条件下测定的，试验时可借助引伸计用卸力法来测定——逐级增加伸长量法。

### (3) 规定总伸长应力 ( $\sigma_t$ ) 及其测量

试样标距部分的总伸长达到规定的原始标距的百分比时的应力，以  $\sigma_{t\ 0.5}$  等表示。其测定有图解法和引伸计法两种。

## 2、 屈服点、上屈服点和下屈服点测定

有明显屈服现象的金属材料，应测定其屈服上屈服点、下屈服点，但通常只测定屈服点或下屈服点。所谓上屈服点是指材料发生屈服时由于初始瞬时效应而达到的最高应力点，下屈服点是指材料发生屈服时由于初始瞬时效应而达到的最低应力点，屈服点则是指在屈服曲线上屈服平台恒定的应力点，测定方法有图示法和指针法。而无明显屈服现象的材料则应测定其屈服强度 ( $\sigma_{p\ 0.2}$  或  $\sigma_{r\ 0.2}$ )。

**3. 抗拉强度 ( $\sigma_b$ )：** 拉伸断裂过程中最大试验力所对应的应力。

$$\sigma_b = F_b/S_0$$

式中： $F_b$  = 断裂前最大的拉力，可从拉伸图上得到或从试验机的测力盘上读取。

#### 4. 塑性指标

(1) 延伸率 ( $\delta$ ): 试样断裂后, 标距的伸长与原始标距的百分比。

测定延伸率时可将断裂后的试样在断裂处紧密对接在一起, 尽量使其位于一直线上, 测出试样断裂后标距间的长度  $L_1$ , 按下式计算

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$$

① 断裂处位于试样的中间位置 (到临近标距端点的距离大于原始标距长度  $L_0$  的三分之一) 时可直接测量标距两端的距离。

② 断裂处不位于试样的中间位置 (到临近标距端点的距离小于或等于原始标距长度  $L_0$  的三分之一) 时则需用位移法进行测定。

(2) 断面收缩率 ( $\psi$ ): 试样断裂后测出颈缩处的横截面积  $S_1$ , 按下式计算:

$$\psi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\%$$

#### 六、 实验结果的处理

试验中出现下列情况之一, 实验结果无效。

- 1、试样在标距外断裂;
- 2、试验中操作不当引起试验条件不符合要求;
- 3、试验后试样上出现两个或两个以上颈缩。
- 4、试验记录有误或设备仪器发生故障影响试验结果准确性;

#### 七、 实验设备及安排

- 1、设备: 60T 液压万能材料试验机、载荷传感器及位移传感器、动态应变仪和 X-Y 记录仪、游标卡尺、划线机。
- 2、试样安排: 低、中、高碳含量的碳钢或合金钢试样, 淬火, 高、中、低温回火。试样为直径 10mm 的 10 倍试样。

#### 八、 实验报告

- 1、实验目的
- 2、实验数据处理
- 3、实验结果分析

(3) 试样尺寸对性能指标的影响、材料成分对性能指标的影响、热处理工艺对性能指标的影响。

(4) 根据断口的情况, 分析  $S_K$  的含义

## 实验 19 X 射线晶体分析仪介绍及单相立方晶系物质粉末相计算

(2 学时)

### 一、实验目的

概括了解 X 射线晶体分析仪的构造使用及粉末相的拍照。掌握单相立方系物质粉末相的计算方法。

### 二、X 射线晶体分析仪介绍

X 射线晶体分析仪包括 X 射线管、高压发生器及控制线路等几部分。

目前常用的 X 射线管是热电子密封式的。阴极由钨丝绕成螺线形，工作时通电至白热状态。由于阴极间有几十千伏的电压，故热电子以高速撞击阳极靶面。为防止灯丝氧化并保证电子流稳定，管内抽成  $1.33 \times 10^{-9} \sim 1.33 \times 10^{-11}$  MPa 的高真空。为使电子束集中，在灯丝外设有聚焦罩。阳极靶由熔点高、导热性好的铜制成，靶面上镀一层纯金属。常用的金属材料有 Cr、Co、Ni、Mo、W 等。当高速电子撞击阳极靶时，便有部分动能转变为 X 射线，但其中约有 99% 将转变为热。为了保护阳极靶面，管子工作时需强制冷却。为了使用冷水冷却，也为了操作者的安全，应使 X 射线管的阳极接地，而阴极则由高压电缆加上负高压。X 射线有相当厚的金属管套，使 X 射线只能从窗口射出。窗口由吸收系数较底的 Be 片制成。结构分析 X 射线管通常有四个对称的窗口，靶面上被电子轰击的范围称为焦点，它是发射 X 射线的源泉。用螺线形灯丝时，焦点的形状为长方形（面积常为  $1\text{mm} \times 10\text{mm}$ ），此称为实际焦点。窗口位置的设计，使得射出的 X 射线与靶面成  $6^\circ$  角。从长方形短边上的窗口所看到的焦点为  $1\text{mm}^2$  的正方形，称点焦点，在长边方向看到的线焦点。一般的照相多采用点焦点，而线焦点多用在衍射仪上。

X 射线晶体分析仪由交流稳压器、调压器、高压发生器、整流与稳压系统、控制电路及套管等组成。

启动分析仪按下列程序进行：

- 1、打开冷却水，继电器触点 K1 即接通。
- 2、接通外电源。
- 3、按低压按钮 SB3，交流接触器 KM1 接通，即其触点 KM1-1, KM1-2 接通。
- 4、热 3 分钟后按下高压按钮 SB4。S 表示管流零位开关及过负荷开关，正常情况下应接通，故交流接触器 KMn-1, KMn-2 接通。
- 5、根据 X 射线管的额定功率确定管压和管流。调整管压系通过调压器改变高压变压器的一

次电压来实现。经过由二极管 V1, V2 及电容 C1, C2 组成的倍压全波整流线路将高压加到 X 射线管上。高压值由电压表读出。通过灯丝电位器 R 可调节管流, 其数值由电流表读出。

关闭的过程与启动的过程相反, 即先将管流、管压降至最小值, 再切断高压, 切断低电压及外电源, 经 15min 后关闭冷却水。

使用 X 射线仪时必须注意安全, 防止人身的任何部位受到 X 射线的直接照射及散射, 防止接触高压线路及部件, 并使工作室有良好的通风。

### 三、粉末相的摄照与计算

粉末相的摄照与计算, 在 § 4-2 中已有较详细的介绍, 此处不再重复。下面仅举一例说明粉末相的计算方法和步骤。

试样为单相立方晶系多相粉末, 圆柱试样的直径  $2\rho = 0.8\text{mm}$ , 采用  $\text{FeK}\alpha$  照射, 用不对称底片记录, 以米尺量。

为便于与标准卡片上的数据相对照,  $\lambda$ 、 $\delta$  及  $\alpha$  的单位均采用埃 (Å)。照片的相对衍射强度与卡片值有较大的差别, 可能来源于以下几方面:

- 1、二者辐射不同。制作卡片采用了  $\text{CoK}\alpha$ , 实验采用的  $\text{FeK}\alpha$ 。
- 2、试样粉末的冲淡程度不同, 使由吸收引起的强度差异不同 (由于金属吸收 X 射线极为强烈, 对衍射线形及相对强度影响较大, 故制作粉末试样时常掺入面粉等非晶体物质冲淡)。
- 3、对衍射线的强度评价方法不同: 实验采用德拜法, 衍射强度用目测估计; 卡片则采用衍射仪测量。

### 四、实验内容

- 1、由教师介绍 X 射线晶体分析仪的构造并示范操作。
- 2、由教师介绍粉末试样的制备、相机的构造、试样及底片的安装、暴光过程等。
- 3、由教师组织讨论摄照某物质的粉末相时所应选用的 X 射线管阳极、滤片、管压、管流及暴光时间等参数。
- 4、由学生独立完成粉末相的测量及计算。

### 五、实验报告要求

- 1、简述 X 射线晶体分析仪的构造。
- 2、简述粉末相的摄照过程。
- 3、将测量与计算数据以表格列出。
- 4、写出实验的体会与疑问。

## 实验 20 利用 X 射线衍射仪进行多相物质的相分析 (2 学时)

### 一、实验目的

- 1、概括了解 X 射线衍射仪的结构及使用。
- 2、练习用 PDF (ASTM) 卡片及索引对多相物质进行相分析。

### 二、X 射线衍射仪简介

传统的衍射仪由 X 射线发生器、测角仪、记录仪等几部分组成。自动化衍射仪是近半年才面世的新产品，它采用微计算机进行程序的自动控制。入射 X 射线经狭缝照射到多晶试样上，衍射线的单色化可借助于滤波片或单色器。衍射线被探测器所接受，电脉冲经放大后进入脉冲高度分析器。操作者在必要时可利用该设备自动画出脉冲高度分布曲线，以便正确选择基线电压与上限电压。信号脉冲可送至计数率仪，并在记录仪上画出衍射图。脉冲亦可送至计数器（以往称为定标器），经微处理机进行寻峰、计算峰积分强度或宽度、扣除背底等处理，并在屏幕上显示或通过打印机将所需的图形或数据输出。控制衍射仪的专用微机可通过带编码器的步进电机控制试样 ( $\theta$ ) 及探测器 ( $2\theta$ ) 进行连续扫描、阶梯扫描，连动或分别动作等等。目前，衍射仪都配备计算机数据处理系统，使衍射仪的功能进一步扩展，自动化水平更加提高。衍射仪目前已具有采集衍射资料，处理图形数据，查找管理文件以及自动进行物相定性分析等功能。

物相定性分析是 X 射线衍射分析中最常用的一种测试，衍射仪可自动完成这一过程。首先，仪器按所给定的条件进行衍射数据自动采集，接着进行寻峰处理并自动启动程序。当检索开始时，操作者要选择输出级别（扼要输出、标准输出或详细输出），选择所检索的数据库（在计算机硬盘上，存贮着物相数据库，约有物相 46000 种，并设有无机、有机、合金、矿物等多个分库），指出测试时所使用的靶，扫描范围，实验误差范围估计，并输入试样的元素信息等。此后，系统将进行自动检索匹配，并将检索结果打印输出。

### 三、用衍射仪进行物相分析

物相分析的原理及方法在第 5 章中已有较详细的介绍，此处仅就实验及分析过程中的某些问题作一简介。为适应初学者的基础训练，下面的描述仍多以手工衍射仪和人工检索为基础。

#### 1、试样

衍射仪一般采用块状平面试样，它可以是整块的多晶体，亦可用粉末压制。金属样可从大块中切割出合适的大小（例如  $20\text{mm}\times 15\text{mm}$ ），经砂轮、砂纸磨平再进行适当的浸蚀而得。分析氧化层时表面一般不做处理，而化学热处理层的处理方法须视实际情况进行（例如可用细砂纸清磨去氧化皮）。

粉末样品应有一定的粒度要求，这与德拜相的要求基本相同（颗粒大约在  $1\sim 10\mu\text{m}$ ）数量级。粉末过 200~325 目筛子即符合要求，不过由于在衍射仪上摄照面积较大，故允许采用稍粗的颗粒。根据粉末的数量可压在玻璃制的通框或浅框中。压制时一般不加粘结剂，所加压力以使粉末试样粘牢为限，压力过大可能导致颗粒的择优取向。当粉末数量很少时，可在平玻璃片上抹上一层凡士林，再将粉末均匀撒上。

## 2、测试参数的选择

描画衍射图之前，须考虑确定的实验参数很多，如 X 射线管阳极的种类、滤片、管压、管流等，其选择原则在 § 4-3 中已有所介绍。有关测角仪上的参数，如发散狭缝、防散射狭缝、接收狭缝的选择等，可参考 § 4-3。衍射仪的开启，与 X 射线晶体分析仪有很多相似之处，特别是 X 射线发生器部分。对于自动化衍射仪，很多工作参数可由微机上的键盘输入或通过程序输入。衍射仪需设置的主要参数有：脉冲高度分析器的基线电压，上限电压，计数率仪的满量程，如每秒为 500 计数、1000 计数或 5000 计数等；计数率仪的时间常数，如 0.1s, 0.5s, 1s 等，记录仪的走纸速度，如每度  $2\theta$  为 10mm, 20mm, 50mm 等；测角仪连续扫描速度，如 0.01o/s, 0.03o/s 或 0.05o/s 等；扫描的起始角和终止角等。此外，还可以设置寻峰扫描、阶梯扫描等其他方式。

## 3、衍射图的分析

先将衍射图上比较明显的衍射峰的  $2\theta$  值量度出来。测量可借助于三角板和米尺。将米尺的刻度与衍射图的角标对齐，令三角板一直角边与衍射峰的对称（平分）线重合，并以此作为峰的位置。借米尺之助，可以估计出百分之一度（或十分之一度）的  $2\theta$  值，并通过工具书查出对应的  $d$  值。又按衍射峰的高度估计出各衍射线的相对强度。有了  $d$  系列与  $I$  系列之后，取前反射区三根最强线为依据，查阅索引，用尝试法找到可能的卡片，再进行详细对照。如果对试样中的物相已有初步估计，亦可借用字母索引来检索。

确定一个物相之后，将余下的线条进行强度的归一处理，再寻找第二相。有时亦可根据试样的实际情况作出判断，直至所有的衍射均有着落为止。

## 4、举例

球墨铸铁片经 570oC 气体软氮化 4h，用  $\text{CrK}\alpha$  照射，所得的衍射图如图实 2-2 所示。将各衍射峰对应的  $2\theta$ ， $d$  及  $I/I_1$  列成表格。根据文献资料，知渗氮层中可能有各种铁的氮化物，于是按英文“Iron Nitride”翻阅字母索引，找出  $\text{Fe}_3\text{N}$ ， $\xi\text{-Fe}_2\text{N}$ ， $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N-Fe}_2\text{N}$  及  $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$  等物相的卡片。与实验数据相对照后，确定了“ $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N-Fe}_2\text{N}$ ”及“ $\text{Fe}_3\text{N}$ ”两个物相，并有部分残余线条。根据试样的具体情况，猜测可能出现基体相有铁的氧化物的线条。经与这些卡片相对照，确定了

物相  $\alpha$ -Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 衍射峰的存在。各物相线条与实验数据对应的情况。

根据具体情况判断，各物质可能处于距试样表面不同深度处。其中 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 应在最表层，但因数量少，且衍射图背底波动较大，致使某些弱线未能出现。离表面稍远的应是“ $\epsilon$  Fe<sub>3</sub>N-Fe<sub>2</sub>N”相，这一物相的数量较多，因它占据了衍射图中比较强的线。再往里应是 Fe<sub>3</sub>N，其数量比较少。 $\alpha$ -Fe 应在离表面较深处，它在被照射的体积中所占分量较大，因为它的线条亦比较强。从这一点，又可判断出氮化层并不太厚。

衍射线的强度跟卡片对应尚不够理想，特别是  $d=2.065\text{\AA}$  这根线比其它线条强度大得多。本次分析对线条强度只进行了大致的估计，实验条件跟制作卡片时的亦不尽相同，这些都是造成强度差别的原因。至于各物相是否存在择优取向，则尚未进行审查。

#### 四、实验内容及报告

- 1、由教师在现场介绍衍射仪的构造，进行操作表演，并描画一两个衍射峰。
- 2、以 2~3 人为一组，按事先描绘好的多相物质的衍射图进行物相定性分析。
- 3、记录所分析的衍射图的测试条件，将实验数据及结果以表格列出。

## 实验 21 透射电子显微镜的结构、样品制备及观察（4 学时）

### 一、实验目的

- 1、熟悉透射电子显微镜的基本机构。
- 2、掌握塑料—碳二级复型及金属薄膜的制备方法。
- 3、学会分析典型组织图像。

### 二、透射电子显微镜的基本结构

透射电子显微镜一般由电子光学系统、电源与控制系统和真空系统三部分组成。透射电子显微镜的基本部分是电子光学系统（镜筒）。整个镜筒类似积木式圆柱状结构，自上而下顺序排列着电子枪、双聚焦镜、样品室、物镜、中间镜、投影镜、观察室、荧光屏及照相室等装置。通常又把上述装置划分为照明、成像和观察记录三部分。实验时根据实际设备具体介绍。

### 三、塑料—碳二级复型的制备方法

#### 1、AC 纸的制作

所谓 AC 纸就是醋酸纤维素薄膜。它的制作方法是：首先按重量比配置 6%醋酸纤维素丙酮溶液。为了使 AC 纸质地柔软、渗透性强并具有蓝色，在配置溶液中再加入 2%磷酸三苯脂和几粒甲基紫。

待上述物质全部溶于丙酮中且形成蓝色半透明的液体，再将它调制均匀并等气泡逸尽后，适量的倒在干净、平滑的玻璃板上，倾斜转动玻璃板，使液体大面积展开。用一个玻璃钟罩扣上，让钟罩下边与玻璃板间留有一定的间隙，以便保护 AC 纸的清洁和控制干燥速度。醋酸纤维素丙酮溶液，蒸发过慢 AC 纸易吸水变白，干燥过快，AC 纸会产生龟裂。所以，要根据室温、湿度确定钟罩下边和玻璃间的间隙大小。经过 24h 后，把贴在玻璃板上已干透的 AC 纸边沿用薄刀划开，小心的揭下 AC 纸，将它夹在书本中即可备用。

#### 2、塑料—碳二级复型的制备方法

（1）在腐蚀好的金相样品表面上滴上一滴丙酮，贴上一张稍大于金相样表面的 AC 纸（厚  $30\sim 80\mu\text{m}$ ）。注意不要留有气泡和皱折。若金相样品表面浮雕大，可在丙酮完全蒸发前适当加压。静置片刻后，最好在灯泡下烘烤一刻钟左右使之干燥。

（2）小心地揭下已经干燥的 AC 纸复型（即第一级复型），将复型复制面朝上平整的贴在衬有纸片的胶纸上。

（3）把滴上一滴扩散泵油的白瓷片和贴有复型的载玻片，置于镀膜机真空中。按镀膜机的操作规程，先以倾斜方向“投影”铬，再以垂直方向喷碳，如图实 3-2(c)所示。其膜厚读以无



油处白色瓷片变成浅褐色为宜。

(4) 打开真空室，动载玻片上取下复合复型，将要分析的部位小心的剪成 2mm×2mm 的小方片，置于盛有丙酮的磨口培养皿中。

(5) AC 纸从碳复型上全部被溶解后，第二级复型（即碳复型）将漂浮在丙酮液面上，用铜网布制成的小勺把碳复型捞到清洁的丙酮中洗涤，再移到蒸馏水中，依靠水的表面张力使卷曲的碳复型展开并漂浮在水面上。最后用镊子夹持支撑铜网把它捞起，放到过滤纸上，干燥后即可置于电镜中观察。AC 纸在溶解过程中，常常由于它的膨胀使碳膜畸变或破坏。为了得到较完整的碳复型，可采用下述方法：

(1) 使用薄的或加入磷酸三苯脂及甲基紫的 AC 纸。

(2) 用 50%酒精冲淡的丙酮溶液或加热（ $\leq 55^{\circ}\text{C}$ ）的纯丙酮溶解 AC 纸。

(3) 保证在优于  $2.66 \times 10^{-3}\text{Pa}$  高真空条件下喷碳。

(4) 在溶解 AC 纸前用低温石蜡加固碳膜。即把剪成小方片的复合复型碳面与融化在烘热小玻璃片上的低温石蜡液贴在一起，待石蜡液凝固后，放在丙酮中溶掉 AC 纸，然后加热（ $\leq 55^{\circ}\text{C}$ ）丙酮并保温 20min，使石蜡全部溶掉，碳复型将漂浮在丙酮液面上，再经干净的丙酮和蒸馏水的清洗，捞到样品支撑铜网上，这样就获得了不碎的碳复型。

#### 四、金属薄膜的制备方法

制备金属薄膜最常用的方法是双喷电解抛光法。

##### 1、装置

此装置主要由三部分组成：电解冷却和循环冷却部分，电解抛光减薄部分以及观察样品部分。

###### (1) 电解冷却与循环部分

通过耐酸泵把低温电解液经喷嘴打在样品表面。低温循环电解减薄，不使样品因过热而氧化；同时又可得到表面平滑而光亮的薄膜。

###### (2) 电解抛光减薄部分

电解液又泵打出后，通过相对的两个铂阴极玻璃嘴喷到样品表面。喷嘴口径为 1mm，样品放在聚四氟乙烯制作的夹具上。样品通过口径为 0.5mm 的铂丝与不锈钢阳极之间保持电解触，调节喷嘴位置使两个喷嘴位于同一直线上。

###### (3) 观察样品部分

电解抛光时一根光导纤维管把外部光源传送到样品的一个侧面。当样品刚一穿孔时，透过样品的光通过在样品另一侧的光导纤维管传到外面的光电管，切断电解抛光射流，并发出报警声响。

##### 2、样品制备过程

- (1) 电火花切割：从试样上切割下 0.3mm 薄片。
- (2) 在小冲床上将 0.3mm 薄片冲成直径为 3mm 的小试样。
- (3) 直径为 3mm 薄片在水磨金相砂纸上磨到 0.1~0.2mm。

(4) 电解抛光减薄：把无锈、无油、厚度均匀、表面光滑、直径为 3mm 的样品放入样品夹具上。要保持样品与铂丝接触良好，将样品夹具放在喷嘴之间，调整样品夹具、光导纤维管和喷嘴在同一水平面上，喷嘴与样品夹具距离大约 15mm 左右且喷嘴垂直于试样。电解液循环泵马达转速应调节到使电解液喷射到样品上。按试样材料的不同配不同的电解液。需要在低温条件下电解抛光时，可先放入干冰和酒精冷却，温度控制在 $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 左右，或采用半导体冷阱等专门装置。由于样品材料与电解液的不同，最佳抛光规范要发生改变。最有利的电解抛光条件，可通过在电解液温度及流速恒定时，最电流—电压曲线确定。双喷抛光法的电流—电压曲线一般接近于直线。对于同一种电解液，不同抛光材料的直线的斜率差别不大。

(5) 样品制成后应立即在酒精中进行两次漂洗，以免残留电解液腐蚀金属薄膜表面。从抛光结束到漂洗完毕动作要迅速，争取在几秒钟内完成，否则将前功尽弃。

(6) 样品制成后立即观察，暂时不观察的样品要妥善保存，可根据薄膜抗氧化能力选择保存方法。若薄膜抗氧化能力较强，只要保存在干燥器内即可。易氧化的样品要放在坩埚、丙酮、无水酒精等溶液中保存。

双喷法制得的薄膜有较厚的边缘，中心穿孔有一定的透明区域，不需要放在电镜铜网上，可直接放在样品台上观察。

总之，在制作过程中要仔细、认真、不断的总结经验、一定会得到满意的样品。

## 五、组织观察

结合具体样品进行明暗成像、衍射及暗场成像的操作与观察。

## 六、实验报告要求

- 1、简述投射电镜电子光学系统的组成及各部分的作用。
- 2、简述塑料—碳二级复型及金属薄膜的制备方法。
- 3、试述明场与暗场像及电子衍射的操作方法与步骤。

## 实验 22 扫描电子显微镜、电子探针仪结构与样品分析（2 学时）

### 一、实验目的

- 1、了解扫描电镜和电子探针仪结构。
- 2、通过实际分析，明确扫描电镜和电子探针仪的用途。

### 二、结构与工作原理简介

#### 1、扫描电镜

扫描电镜的主要构造分五部分：电子光学系统，扫描系统，信号接受、放大与显示系统，试验微动及更换系统，真空系统。实验时将根据实际设备具体介绍。

#### 2、波谱仪

波谱仪可分成三大部分，电子光学系统，分光系统和检测系统。实验时将根据实际设备具体介绍。

#### 3、能谱仪

包括 Si (Li) 固体探头，场效应晶体管，前置放大器及主放大器等器件。实验时将根据实际设备具体介绍。

### 三、样品观察与分析

#### 1、二次电子像

二次电子像常用来做断口及高倍组织观察。待观察断口要保持新鲜，不可用手或棉纱擦拭断口。如要长期保存，可在断口表面贴一层 AC 纸，在观察时将试样放在丙酮中使 AC 纸充分溶解掉。

#### 2、背散射电子像和吸收电子像

扫描电镜接收背散射电子像的方法是将背散射电子检测器送入镜筒中，将信号选择开关转到 R.E 位置接通背散射电子像的前置放大器。在背散射电子像中，Al<sub>2</sub>Cu 相的平均原子系数高于基体 Al，所以 Al<sub>2</sub>Cu 相有明显的亮度和浮凸效果。由于背散射电子像信号弱，所以在观察时要加大束流，采用慢速扫描。

当断开样品台接地线，接通吸收电子附件，将信号选择开关转到 A.E 位置时，将进行吸收电子像观察。

#### 3、钢中夹杂物的电子探针分析

有一零件显微组织观察发现有许多块状夹杂，用电子探针分析，确定为 MnS，分析方法是：  
样品抛光后不腐蚀，用点分析法在块状夹杂上进行全谱定位分析，或按可能存在的元素范围进行分析，确定在块状夹杂上 S 和 Mn 的含量很高。然后用线分析法，做 S、Mn 的线分析，夹杂

物上的 S、Mn 的含量都大大高于基体，Fe 含量却比基体底。

分析条件：加速电压 25kV，束流  $1 \times 10^{-8}$ A 测 S 时用 PET 晶体，测 Mn 时用 LiF 晶体。

定量计算 S 和 Mn 的原子百分比为 1:1，所以确定是 MnS 的夹杂物。

#### 四、实验报告要求

- 1、简要说明扫描电镜、电子探针结构及工作原理。
- 2、说明二次电子像、背散射电子像和吸收电子像的特点和用途。
- 3、说明钢中夹杂物的分析方法。

## 实验 23 常用结构钢组织观察（2 学时）

### 一、实验目的

掌握常用结构钢在不同热处理条件下的显微组织，并掌握热处理工艺对结构钢组织的影响。

### 二、实验原理

#### 1、碳素结构钢

常见碳素结构钢的牌号用 Q+数字表示，其中“Q”为屈服点“屈”字的汉语拼音字首，数字表示屈服强度的数值。

例如，Q235 表示屈服强度为 235MPa。若牌号后面标注字母 A、B、C、D，则表示钢材质量等级不同，即硫、磷含量不同。其中 A 级钢含硫、磷量最高，D 级钢含硫、磷量最低，即 A、B、C、D 表示钢材质量依次提高。

常用碳素结构钢包括 Q195、Q215、Q235A、Q235B 等。其塑性较好，有一定的强度，通常轧制成钢筋、钢板、钢管等，可用于做桥梁、建筑物等构件，也可用做普通螺钉、螺帽、铆钉等。

Q235C、Q235D 可用于重要的焊接件。

Q255、Q275 强度较高，可轧制成型钢、钢板作构件用。

这类钢常在热轧状态下使用，不再进行热处理。但对某些零件，也可以进行正火、调质、渗碳等处理，以提高其使用性能。

#### 2、优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的钢号用平均碳质量分数的万分数的数字表示。例如，钢号“20”即表示碳质量分数为 0.20%（万分之二十）的优质碳素结构钢。若钢中锰含量较高，则在这类钢号后附加符号“Mn”，如 15Mn、45Mn 等。优质碳素结构钢主要用来制造各种机器零件，使用前一般都要经过热处理。

常用优质碳素结构钢：

08F 塑性好，可制造冷冲压零件；

10、20 钢 冷冲压性与焊接性能良好，可用作冲压件及焊接件，经过热处理（如渗碳）也可以制造轴、销等零件；

35、40、45、50 钢 经热处理后，可获得良好的综合机械性能，用来制造齿轮、轴类、套筒等零件；

60、65 钢 主要用来制造弹簧。

#### 3、合金调质钢

合金调质钢广泛用于制造汽车、拖拉机、机床和其它机器上的各种重要零件，如机床齿轮、主轴、汽车发动机曲轴、连杆、螺栓等。调质件大多承受多种工作载荷，受力情况比较复杂，要求高的综合机械性能，即具有高的强度和良好的塑性、韧性。合金调质钢还要求有很好的淬透性。但不同零件受力情况不同，对淬透性的要求不一样。

常用调质钢的牌号、成分、热处理、性能及用途：

(1) 40Cr 低淬透性合金调质钢，油淬临界直径为 30 mm~40 mm，用于制造一般尺寸的重要零件。

(2) 35CrMo 中淬透性合金调质钢，油淬临界直径为 40 mm~60 mm，加入钼不仅可提高淬透性，而且可防止第二类回火脆性。

(3) 40CrNiMo 高淬透性合金调质钢，油淬临界直径为 60 mm~100 mm，铬镍钢中加入适当的钼，不但具有好的淬透性，还可消除第二类回火脆性。

合金调质钢的最终热处理是淬火加高温回火。合金调质钢淬透性较高，一般都用油淬，淬透性特别大时甚至可以空冷，这能减少热处理缺陷。

合金调质钢的最终性能决定于回火温度。一般采用 500 ℃~650 ℃回火。通过选择回火温度，可以获得所要求的性能。为防止第二类回火脆性，回火后快冷（水冷或油冷），有利于韧性的提高。合金调质钢常规热处理后的组织是回火索氏体。对于表面要求耐磨的零件（如齿轮、主轴），再进行感应加热表面淬火及低温回火，表面组织为回火马氏体。表面硬度可达 55 HRC~58 HRC。

#### 4、合金弹簧钢

合金弹簧钢是一种专用结构钢，主要用于制造各种弹簧和弹性元件。要求高的弹性极限  $\sigma_e$ ，尤其是高的屈强比  $\sigma_s/\sigma_b$  以保证弹簧有足够高的弹性变形能力和较大的承载能力；高的疲劳强度  $\sigma_r$ ，以防止在震动和交变应力作用下产生疲劳断裂；足够的塑性和韧性，以免受冲击时脆断。此外，弹簧钢还要求有较好的淬透性，不易脱碳和过热，容易绕卷成形等。弹簧的冶金质量对疲劳强度有很大的影响，所以弹簧钢均为优质钢或高级优质钢。

常用弹簧钢的牌号、成分、热处理、性能及用途：

(1) 65Mn 和 60Si2Mn 以 Si、Mn 为主要合金元素的弹簧钢。这类钢的价格便宜，淬透性明显优于碳素弹簧钢，Si、Mn 的复合合金化，性能比只用 Mn 的好得多。这类钢主要用于汽车、拖拉机上的板簧和螺旋弹簧。

(2) 50CrVA 含 Cr、V、W 等元素的弹簧钢。Cr、V 复合合金化，不仅大大提高钢的淬透性，而且还提高钢的高温强度、韧性和热处理工艺性能。这类钢可制作在 350 ℃~400 ℃温度下承受

重载的较大弹簧。

## 5、滚珠轴承钢

主要用来制造滚动轴承的滚动体（滚珠、滚柱、滚针）、内外套圈等，属专用结构钢。从化学成分上看它属于工具钢，所以也用于制造精密量具、冷冲模、机床丝杠等耐磨件。性能要求高的接触疲劳强度；高的硬度和耐磨性；足够的韧性和淬透性。此外，还要求在大气和润滑介质中有一定的耐蚀能力和良好的尺寸稳定性。

滚珠轴承钢的钢号、成分、热处理和用途：

(1) 铬轴承钢 最常用的是 GCr15。使用量占轴承钢的绝大部分。

(2) 添加 Mn、Si、Mo、V 的轴承钢 在铬轴承钢中加入 Si、Mn 可提高淬透性，如 GCr15SiMn、GCr15SiMnMoV 等。为了节铬，加入 Mo、V 可得到无铬轴承钢，如 GSiMnMoV、GSiMnMoVRE 等，其性能与 GCr15 相近。

轴承钢的热处理主要为球化退火、淬火和低温回火。

(1) 球化退火 轴承钢预先热处理是球化退火。其目的不仅是降低钢的硬度，以利于切削加工，更重要的是获得细的球状珠光体和均匀分布的过剩的细粒状碳化物，为零件的最终热处理做组织准备。

(2) 淬火和低温回火 淬火温度要求十分严格，温度过高会过热，晶粒长大，使韧性和疲劳强度下降，且易淬裂和变形；温度过低，则奥氏体中溶解的铬量和碳量不够，钢淬火后硬度不足。GCr15 钢的淬火温度严格控制在 820℃~840℃范围内，回火温度一般为 150℃~160℃。

## 三、实验内容

观察下表 23-1 中所列金相样品的显微组织

编号	材料	热处理状态	浸蚀剂	组织
1	Q235	860℃空冷	4%硝酸酒精	P+F
2	45 钢	860℃空冷	4%硝酸酒精	P+F
3	45 钢	860℃水冷	4%硝酸酒精	混合 M
4	45 钢	860℃水冷+600℃回火	4%硝酸酒精	回火 S
5	20 钢	930℃盐水淬火	4%硝酸酒精	板条 M
6	40Cr	调质处理	4%硝酸酒精	回 S+少量 F
7	65Mn	830℃淬火+450℃回火	4%硝酸酒精	回火 T
8	GCr15	880℃淬火+160℃回火	4%硝酸酒精	回火 M+碳化物

## 四、实验要求

用铅笔画出表中的 1~8 种显微组织；每一种样品都各画在一个  $\phi 30\text{mm}$  的圆内，并用箭头标出图中各显微组织，在圆下方标注材料名称、工艺状态、放大倍数和浸蚀剂等。

## 五、讨论内容

讨论材料的成分—热处理工艺—组织—性能之间的关系。



## 实验 24 常用铸铁不同状态组织观察与分析 (2 学时)

### 一、实验目的

- 1.掌握灰口铸铁、可锻铸铁及球墨铸铁中石墨形态的特性;
- 2.掌握铸铁的三种不同基体。

### 二、实验原理

灰口铸铁的组织分析

#### 1. 普通灰口铸铁

灰口铸铁显微组织与白口铸铁的显微组织不同,白口铸铁中的碳全部以化合物渗碳体的形式存在,在组织中有共晶莱氏体,其断口白亮。性质硬而脆,故工业上很少应用,主要作炼钢原料。普通灰口铸铁中碳全部或部分以自由碳—片状石墨形式存在,断口呈现灰色。其显微组织根据石墨化程度的不同为铁素体或珠光体或铁素体+珠光体基体上分布片状石墨。由于片状石墨无反光能力,故试样未经腐蚀即可看出呈灰黑色。石墨性脆,在磨制时容易脱落,此时在显微镜下只能见到空洞。为了研究石墨的形状和分布,一般均先观察未经腐蚀的试片。灰口铸铁的基体在未经腐蚀的试片上呈白亮色,经过硝酸酒精腐蚀后和碳钢一样。在铁素体基体的灰口铸铁中看到晶界清晰的等轴铁素体晶粒。在珠光体基体的灰口铸铁中,珠光体片的大小随冷却速度而异。

由于石墨的强度、塑性几乎等于零,这样可以把铸铁看成是布满裂纹和空洞的钢,因此铸铁的抗拉强度与塑性远比钢低、且石墨数量越多,尺寸越大,石墨对基体的削弱作用也愈大。

在铸铁中由于含磷较高,在实际铸造条件下磷常以  $\text{Fe}_3\text{P}$  的形式与铁素体和  $\text{Fe}_3\text{C}$  形成硬而脆的磷共晶,因此在灰铸铁的显微组织中,除基体和石墨外,还可以见到具有菱角状沿奥氏体晶界连续或不连续分布的磷共晶(又叫斯氏体)。磷共晶主要有三种类型,即二元磷共晶(在  $\text{Fe}_3\text{P}$  的基体上分布着粒状的奥氏体分解产物—铁素体或珠光体)、三元磷共晶(在  $\text{Fe}_3\text{P}$  的基体上分布着呈规则排列的奥氏体分解产物的颗粒及细针状的渗碳体)和复合磷共晶(二元或三元磷共晶基体上嵌有条块状渗碳体)。用硝酸酒精或苦味酸腐蚀时  $\text{Fe}_3\text{P}$  不受腐蚀,呈白亮色,铁素体光泽较暗,在磷共晶周围通常总是珠光体。由于磷共晶硬度很高,故当二元或三元磷共晶以少量均匀孤立分布时,有利于提高耐磨性,而并不影响强度。磷共晶如形成连续网状,则会使铸铁强度和韧性显著降低。

#### 2. 可锻铸铁

可锻铸铁又叫马铁或展性铸铁,它是由白口铸铁经退火处理而得到的一种铸铁,其中石墨呈团絮状,因而大大减弱了对基体的割裂作用,与普通灰铸铁相比,具有较高的机械性能,尤其具有较高的塑性和韧性。根据基体不同,可锻铸铁可分铁素体可锻铸铁及珠光体可锻铸铁。

#### 3、球墨铸铁

它是用镁、钙及稀土元素(钕族元素)球化剂进行球化处理,使石墨变为球状。由于石墨呈球状对基体的削弱作用最小,使球墨铸铁的金属基体强度利用率高达 70~90%(灰铸铁只达到 30%左右),因而其机械性能远远优于普通灰铸铁和可锻铸铁。球墨铸铁的基体也有铁素体、珠光体

和铁素体+珠光体三种，在后一种基体中球状石墨的周围总是铁素体，其外层才是珠光体，有如牛眼形状。这是由于共晶转变中形成的石墨是优良的石墨化中心，所以铁素体总是包围着石墨球。目前应用最广泛的是前面两种基体。

如上所述，铸铁的基体既然是铁素体和珠光体所组成，很显然和钢一样可以通过热处理来改变基体组织，从而改善铸铁的机械性能，特别是球墨铸铁常常通过正火、调质和等温淬火来提高其机械性能。球墨铸铁正火的目的主要是为了增加基体中珠光体数量从而提高球铁的强度和耐磨性。球铁调质处理后得到回火索氏体，从而有更高的综合机械性能。球铁经等温淬火后的组织为下贝氏体、部分马氏体和少量残余奥氏体，这种组织不仅具有较高的综合机械性能，而且具有很好的耐磨性，内应力也小。

### 三、实验内容

观察表 24-1 中所列金相样品的显微组织

**表 24-1 铸铁显微组织观察样品状态**

序号	材料	处 理 工 艺	浸蚀剂	组织特征
1	灰口铸铁 (P 基)	铸 态	4%硝酸酒精	P+片状石墨
2	灰口铸铁 (F 基)	铸 态	4%硝酸酒精	F+片状石墨
3	灰口铸铁 (F+P) 基	铸态	4%硝酸酒精	F+P+片状石墨
4	球墨铸铁	铸造	4%硝酸酒精	牛眼睛
5	可锻铸铁 (F 基)	可锻化退火	4%硝酸酒精	F+团絮石墨

### 四、实验要求

用铅笔画出表中的 1~5 种显微组织；每一种样品都各画在一个  $\phi 30\text{mm}$  的圆内，并用箭头标出图中各显微组织，在圆下方标注材料名称、工艺状态、放大倍数和浸蚀剂等。

### 五、讨论内容

- 1、从化学成分、组织、性能说明铸铁与钢的区别。
- 2、不同基体的灰口铸铁性能有哪些差别？
- 3、三种铸铁的使用范围是什么？

## 实验 25 齿轮钢和轴承钢金相组织观察（2 学时）

### 一、实验目的

1. 熟悉齿轮钢和轴承钢的性能需求，
2. 熟悉齿轮钢和轴承钢的成分特点，
3. 熟悉齿轮钢和轴承钢的热处理方式，
4. 熟悉齿轮钢和轴承钢的组织特征，
5. 从组成物和形态上区别齿轮钢和轴承钢。

### 二、实验原理

#### 1. 轴承钢

成分 —— wt.%(C)=0.95~1.10%，主加元素是 Cr，形成细小的碳化物。

性能 —— 高接触疲劳强度、高硬度和耐磨性，韧性、淬透性好。

热处理(HT) —— 球化退火+ 淬火 + 低温回火。

组织 —— 回火 M+细碳化物+少量残余 A

**表 25-1 常用轴承钢钢号、成分与热处理规范**

钢号	主要化学成分, wt. / %				热处理(HT)规范及性能		
	C	Cr	Si	Mn	淬火 ℃	回火 ℃	回火后 HRC
GCr4	0.95~ 1.05	0.35~ 0.0	0.15~ 0.30	0.15~ 0.30	800~820	150~ 170	62~66
GCr15	0.95~ 1.05	1.40~ 1.65	0.15~ 0.35	0.25~ 0.45	820~840	150~ 160	62~66
GCr15SiMn	0.95~ 1.05	1.40~ 1.65	0.45~ 0.75	0.95~ 1.25	820~840	170~ 200	>62
GMnMoVRE	0.95~ 1.05		0.15~ 0.40	1.10~ 1.40	770~810	170±5	≥62
GSiMoMnV	0.95~ 1.10		0.45~ 0.65	0.75~ 1.05	780~820	175~ 200	≥62

应用：滚动轴承钢中 GCr15 应用最广。

#### 2. 齿轮（渗碳）钢

成分 —— w(C)=0.1~0.25%，韧性好。合金元素提高淬透性、细化晶粒。

性能 —— 表面 渗层硬度高，耐磨，抗接触疲劳；心部韧性高、强度大。

热处理 —— 渗碳 → 淬火 → 低温回火。

组织 —— 表层：高 C 回火 M + 碳化物 + 残余 A ；

心部：低 C 回火 M (+T+F)

表 25-2 常用齿轮（渗碳）钢钢号、成分与预备热处理规范及性能

淬透性	钢号	主要化学成分, %			预备处理 / 淬火, °C	机械性能 ≥		
		C	Mn	Cr, Ni		$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$a_{KU2}$ J
低	20Cr	0.17~0.24	0.50~0.80	0.70~1.00	880 / 800	835	540	47
	20MnV	0.17~0.24	1.30~1.60		水, 油	785	590	55
中	20CrMnMo	0.17~0.23	0.90~1.20	0.90~1.20	850 油	930	735	47
	20CrMnTi	0.17~0.23	0.80~1.10	1.00~1.30	880 油	1080	835	55
高	18Cr2Ni4WA	0.13~0.19	W0.8~1.2	1.35~1.65 4.0~4.5	950 空	1180	835	78
	20Cr2Ni4A	0.17~0.23	0.30~0.60	1.25~1.65 3.25~3.75	880 油	1180	1080	63



图 25-1 轴承钢



图 25-2 齿轮钢

### 三、实验内容

观察表 25-3 中所列金相样品的显微组织。

表 25-3 显微组织观察样品状态

序号	材料	处理工艺	浸蚀剂	放大倍数	组织特征
1	20CrMnTi	表面渗 C	4% HNO <sub>3</sub> 酒精	100×	渗 C 层观察片
2	15CrMo	退火态	同上	400×	F+P 片
3	20CrMn Mo	调质态	同上	同上	回火 S 片
4	GCr15	淬火 + 低温回火态	同上	同上	回火 M + 细碳化物 (K)

### 四、实验要求

1. 携带铅笔和橡皮擦等做实验；
2. 用铅笔画出表 25-3 中的显微组织形貌；每一样品都各画在一个 $\phi 30\text{mm}$  的圆内；并用箭头标出图中各显微组织，在圆下方标注材料名称、工艺状态、放大倍数和浸蚀剂等。

## 五、讨论内容

1. 从使用性能需求说明齿轮钢和轴承钢从合金成分设计，到热处理方式及组织的区别。
2. 从齿轮（渗碳）钢和轴承钢的成分与性能特点，说明齿轮钢和轴承钢的其它应用。

## 实验 26 工具钢、模具钢在不同热处理状态下的显微组织 (2 学时)

### 一、实验目的

- 1、了解加热温度、冷却速度、回火温度等因素对热处理后钢的组织的影响;
- 2、了解常见的工具钢和模具钢的组织、性能特点及用途;
- 3、观察和了解工具钢、模具钢经不同热处理后的显微组织;
- 4、加深热处理工艺对钢组织和性能影响的理解。

### 二、内容说明

#### 1、实验基本原理

钢的热处理是指将钢在固态范围内加热、保温和冷却,以改变其内部组织,从而获得所需要的使用性能和工艺性能的一种操作工艺。普通热处理包括:退火、正火、淬火和回火,称为四火。

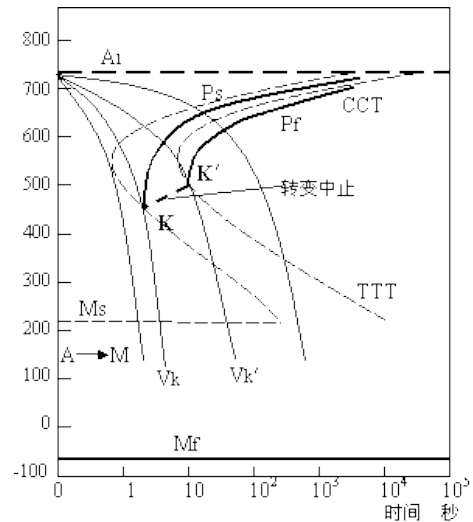
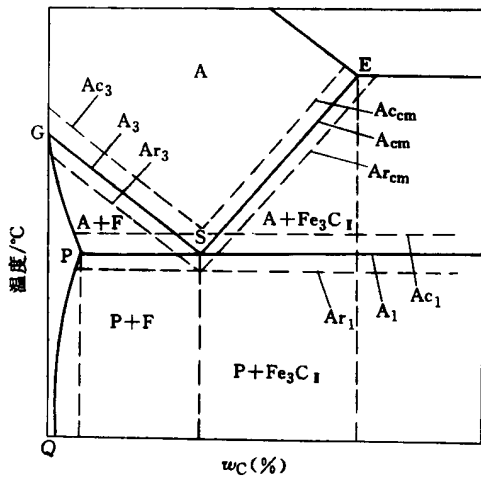


图 26-1 碳钢在加热和冷却时的临界点位置 图 26-2 共析钢过冷奥氏体连续冷却转变曲线

**退火** 退火是将工件加热到适当温度,保温一定时间,然后缓慢冷却的热处理工艺,实际生产中常采取随炉冷却的方式。退火的主要目的:①降低硬度,改善钢的成形和切削加工性能;②均匀钢的化学成分和组织;③消除内应力。根据处理的目的和要求的不同,钢的退火可分为完全退火、球化退火和去应力退火等。

**正火** 正火是将钢加热到  $Ac_3$  (或  $Accm$ ) 以上  $30\sim 50^\circ C$ ,保温一定时间,出炉后在空气中冷却的热处理工艺。对于含有 V、Ti、Nb 等碳化物形成元素的合金钢,可采用更高的加热温度 ( $Ac_3+100\sim 150^\circ C$ ),为了消除过共析钢的网状碳化物,亦可酌情提高加热温度,让碳化物充分溶解。

**淬火** 淬火是将钢件加热到奥氏体化后以适当方式冷却,获得马氏体或(和)贝氏体组织的热

处理工艺。淬火可以显著提高钢的强度和硬度，是赋予钢件最终性能的关键性工序。钢的淬火加热温度可按 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图来选定。

①亚共析钢：亚共析钢淬火加热温度一般在 Ac<sub>3</sub> 以上 30~50℃，得到单一细晶粒的奥氏体，淬火后为均匀细小的马氏体和少量残留奥氏体。若加热温度在 Ac<sub>1</sub>~Ac<sub>3</sub> 之间，淬火后组织为铁素体、马氏体和少量残留奥氏体，由于铁素体的存在，钢的硬度降低。若加热温度超过 Ac<sub>3</sub>+30~50℃，奥氏体晶粒粗化，淬火后得到粗大的马氏体，钢性能变差，且淬火应力增大，易导致变形和开裂。

②共析钢和过共析钢：共析钢和过共析钢的淬火温度为 Ac<sub>1</sub> 以上 30~50℃，淬火后得到细小的马氏体和少量残留奥氏体，或细小的马氏体、少量渗碳体和残留奥氏体。由于渗碳体的存在，钢的硬度和耐磨性提高。若加热温度在 Accm 以上，由于渗碳体完全溶于奥氏体，奥氏体含碳量提高，淬火后残留奥氏体量增多，钢的硬度和耐磨性降低。此外，因温度高，奥氏体晶粒粗化，淬火后得到粗大的马氏体，脆性增大。若加热温度低于 Ac<sub>1</sub> 点，组织没发生相变，达不到淬火目的。

实际生产中，淬火加热温度的确定，尚需要考虑工件形状尺寸、淬火冷却介质和技术要求等因素。

**回火** 回火是将钢件淬硬后，再加热到 Ac<sub>1</sub> 以下某一温度，保温后冷却到室温的热处理。回火一般在淬火后随即进行。淬火与回火常作为零件的最终热处理。

按回火温度不同，回火分为以下三种：

(1) 低温回火 (150~250℃)

回火后组织为回火马氏体。其目的是减小淬火应力和脆性，保持淬火后的高硬 (58~64HRC) 和耐磨性。主要用于处理量具、刀具、模具、滚动轴承以及渗碳、表面淬火的零件。

(2) 中温回火 (350~500℃)

回火后组织为回火屈氏体。其目的是获得高的弹性极限、屈服点和较好的韧性。硬度一般为 35~50HRC。主要用于处理各种弹簧、锻模等。

(3) 高温回火 (500~650℃)

钢件淬火并高温回火的复合热处理工艺称为调质。调质后的组织为回火索氏体，硬度一般为 200~350HBS。其目的是为获得强度、塑性、韧性都较好的综合力学性能。广泛用于各种重要构件 (如轴、齿轮、连杆、螺栓等)，也可作为某些精密零件的预先热处理。

碳钢普通热处理的加热温度、组织结构及应用范围见表 26-1。

表 26-1 碳钢普通热处理的加热温度、组织结构及应用范围

方法	加热温度 (°C)	冷却方式	组织	应用范围	性能
退火	Ac <sub>3</sub> + (30~50)	炉冷	P+F	亚共析钢完全退火	强度硬度低、塑性韧性好
	Ac <sub>1</sub> + (20~30)		P+Fe <sub>3</sub> C <sub>II</sub> (粒状)	过共析钢球化退火	
正火	Ac <sub>3</sub> + (30~50)	空冷	S	亚共析钢	强度硬度比退火高、塑性韧性比退火低
	Accm+ (30~50)			过共析钢	
淬火	Ac <sub>3</sub> + (30~50)	水冷	M	亚共析钢	硬而脆
	Ac <sub>1</sub> + (30~50)			过共析钢	
回火	低温 150—250	空冷	M <sub>回</sub>	切削刀具、量具、冷冲模具、高硬度零件等	强度、硬度高，耐磨性好
	中温 350—500		T <sub>回</sub>	弹簧、中硬度零件等	较好的强度、最佳的弹性、较好的韧性
	高温 500—650		S <sub>回</sub>	齿轮、轴、连杆等要求综合性能好的零件	较好的综合机械性能

表26-2 T12不同处理工艺状态下的组织

编号	材 料	工 艺	浸蚀剂	显微组织
1	过共析钢(T12钢)	退火	4%硝酸酒精溶液	P+Fe <sub>3</sub> C <sub>II</sub> (白网)
2	过共析钢(T12钢)	退火	碱性苦味酸钠水溶液	P+Fe <sub>3</sub> C <sub>II</sub> (黑网)
3	过共析钢(T12钢)	球 化 退 火	4%硝酸酒精溶液	球状P
4	过共析钢(T12钢)	780℃水淬	4%硝酸酒精溶液	淬火M +K+A'
5	过共析钢(T12钢)	780℃水淬+200℃回火	4%硝酸酒精溶液	回火M +K+A'
6	过共析钢(T12钢)	920℃水淬	4%硝酸酒精溶液	粗大M +A'

热处理的加热时间（包括升温与保温时间）与钢的成分、原始组织、工件的尺寸形状、使用的加热设备与装炉方式及热处理方法等诸多因素有关。因此，要切实计算加热时间是比较复杂的。在实验室中，通常按工件的有效厚度，用下列公式计算加热时间： $t = \alpha D$ ，式中： $t$ —加热时间 (min)， $\alpha$ —加热系数 (min/mm)， $D$ —工件有效厚度 (mm)。当  $D \leq 50\text{mm}$ ，在  $800 \sim 960^\circ\text{C}$  箱式电阻炉中加热时， $\alpha = 1 \sim 1.2$ 。



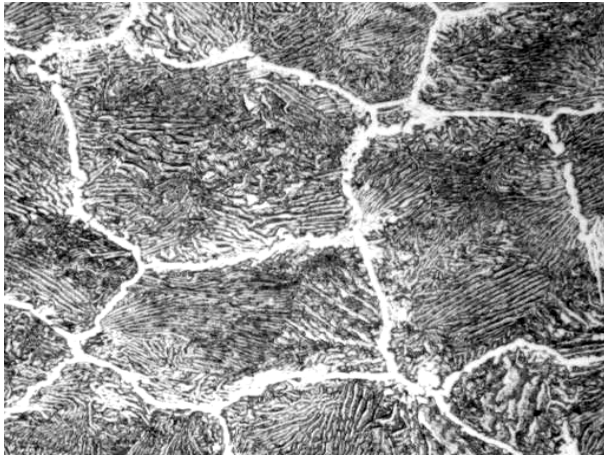


图 26-1: T12 钢 (退火)  
浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液

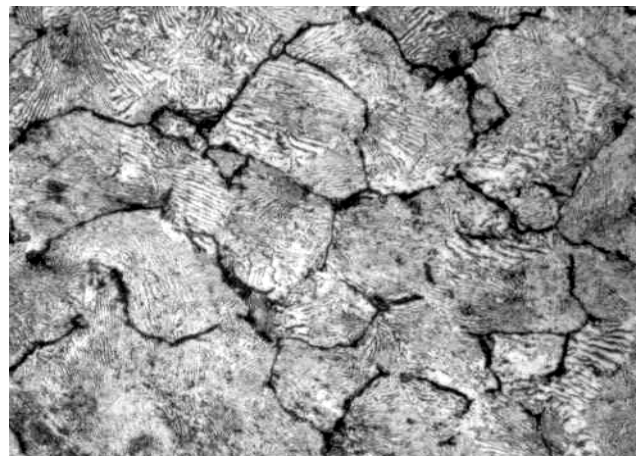


图 26-2: T12 钢 (退火)  
浸蚀剂: 碱性苦味酸钠水溶液

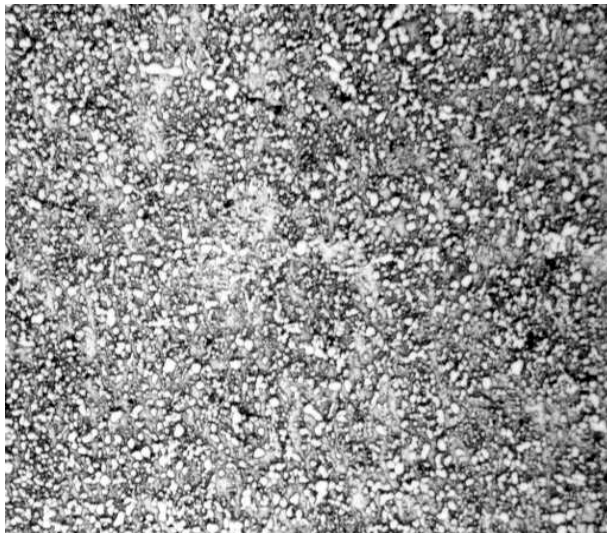


图 26-3: T12 钢 (球化退火)  
浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液

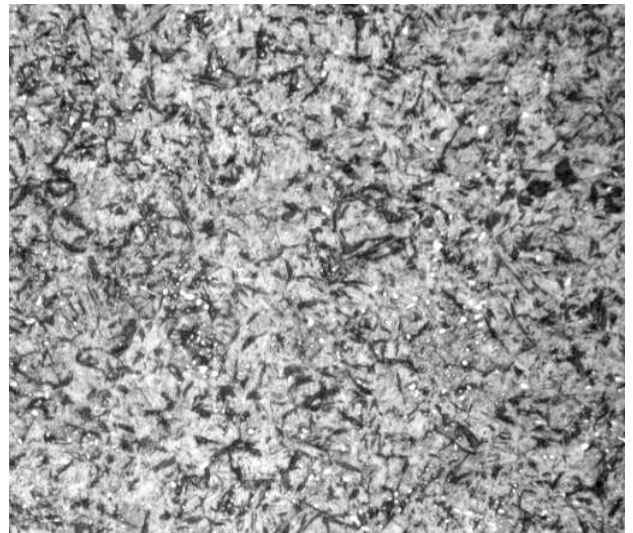


图 26-4: T12 钢 (780℃水淬)  
浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液

过共析钢的组织由珠光体及二次渗碳体所组成，二次渗碳体呈网状，碳量愈高，渗碳体网愈多、愈完整。铁碳合金平衡组织都是由铁素体和渗碳体两相组成。铁素体和渗碳体经 4%硝酸酒精溶液浸蚀后均呈白亮色，为了晶界网状物是铁素体还是渗碳体，可用碱性苦味酸钠水溶液(2g 苦味酸、25g 氢氧化钠、100ml 水)煮沸 15 分钟，渗碳体被染成黑色，铁素体仍为白色，如图 26-2。

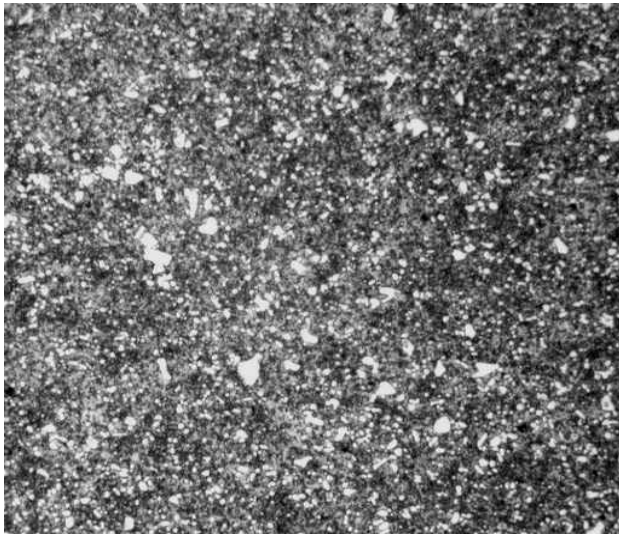


图 26-5: T12 钢 (780°C 水淬+200°C 回火)  
浸蚀剂: 4% 硝酸酒精溶液

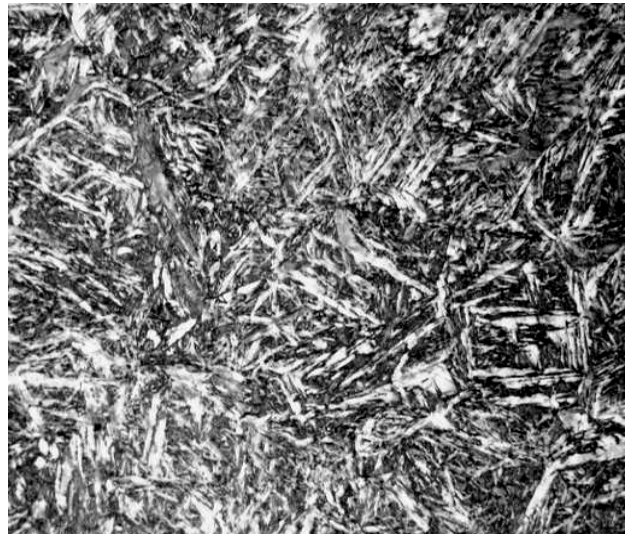


图 26-6: T12 钢 (920°C 水淬)  
浸蚀剂: 4% 硝酸酒精溶液

## 2、工具钢

合金钢依合金元素含量的不同,可分为三种,合金元素总量<5%的称为低合金钢;合金元素为 5%~10%的称为中合金钢,合金元素>10%的称为高合金钢。按用途可以分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。

工具钢按化学成分可分为:碳素工具钢、合金工具钢和高速工具钢。工具钢按用途可以分为刀具钢、模具钢和量具钢。工具钢主要用于制造各种切削刀具,模具和量具,所以要有高的硬度和耐磨性、高的强度和冲击韧性等。

### (1) 碳素工具钢和合金工具钢

T8、T10 是典型的碳素工具钢,合金工具钢是在碳素工具钢的基础上加入一定数量的合金元素 Cr、W、Mo、Mn、Si 等。退火状态的正常组织为球状珠光体。淬火组织是针状马氏体、残余奥氏体和粒状碳化物。合金工具钢中马氏体针和碳化物更为细小。

碳素工具钢和合金工具钢的使用状态淬火加低温回火。

碳素工具钢用来制造各种刀具、量具、模具等。T7、T8 硬度高、韧性好,可制作冲头、锤头、凿子、锻模;T9、T10 硬度高、韧性适中,可制作钻头、车刀、丝锥、刨刀、手锯条;T12、T13 硬度高、韧性低,可制作量具、锉刀、刮车刀。

### (2) 高速工具钢

高速钢是高合金工具钢,具有良好的红硬性,即使工作温度达到 600°C 时,仍保持高的硬度和切削性能。经常用它来制造各种刀具。这里以典型的 W18Cr4V (简称 18-4-1) 钢为例加以分

析研究。

W18Cr4V 的化学成分为：0.7~0.8%C，17.5~19%W，3.8~4.4%Cr，1.0~1.4%V，< 0.3%Mo。由于钢中存在大量合金元素（大于 20%），因此除了形成合金铁素体与合金渗碳体外，还会形成各种合金碳化物（如 Fe<sub>4</sub>W<sub>2</sub>C、VC 等），这些组织特点决定了高速钢具有优良的切削性能。

A. 高速钢的铸态组织：按组织特点分类，高速钢属莱氏体钢，在一般铸造条件下存在以具有鱼骨状碳化物为特征的共晶莱氏体组织。图 26-7 所示为 W18Cr4V 钢的铸态组织。铸态的高速钢的显微组织黑色组织为  $\delta$  共析相；白色组织是马氏体和残余奥氏体；鱼骨状组织是共晶莱氏体。铸态高速钢的显微组织中，碳化物粗大，且很不均匀，不能直接使用，必须进行反复锻造。

B. 高速钢的退火组织：高速钢铸态组织极不均匀，特别是共晶组织中粗大碳化物的存在，使钢的性能显著降低，因此，高速钢铸造后必须经过锻造、退火，以改善碳化物的分布状况。图 26-8 所示为 W18Cr4V 钢经锻造及退火后的显微组织，组织中呈亮白色较大块状为一次碳化物，较细小块状为二次碳化物，基体组织是索氏体。

退火温度宜为 860~880℃，加热时间为 3~4 小时左右，为了缩短退火时间，一般采用等温退火，即：860~880℃加热 3~4 小时，炉冷到 700~750℃等温 4~6 小时。

C. 高速钢淬火及回火后的组织：高速钢优良的热硬性及高的耐磨性，只有经淬火及回火后才能获得。W18Cr4V 钢通常采用较高的淬火温度（1270~1280℃），以保证奥氏体充分合金化，淬火时可在油中或空气中冷却，图 26-9 为 W18Cr4V 钢经 1270~1280℃淬火后的显微组织，其组织为在马氏体及残余奥氏体的基体上分布有一次碳化物的颗粒。在金相显微镜下观察时，马氏体不易显示。

高速钢经淬火后组织中存在相当数量（约 30~40）的残余奥氏体，一次 560℃回火只能对淬火马氏体起回火作用，不能使所有残余奥氏体转变为马氏体，因此需经 560℃回火（2~3 次）加以消除。回火时从马氏体和部分残余奥氏体中析出高度分散的碳化物，降低了残余奥氏体中碳和合金元素的含量，使其稳定性降低，在冷却过程中这些奥氏体就会转变成马氏体。图 26-10 所示为 W18Cr4V 钢经淬火及 560℃回火后的显微组织，其中呈白色块状的为合金碳化物（W<sub>2</sub>C、V<sub>4</sub>C<sub>3</sub>），暗黑色基底是回火马氏体和少量残余奥氏体。

**过热组织：**由于淬火温度过高等原因，造成晶粒过大，溶入奥氏体的碳化物较多，剩余碳化物数量减少，奥氏体的过饱和程度较大，淬火冷却时会网状或半网状碳化物，碳化物出现粘连、拖尾、角状或沿晶界呈网状分布，这种现象称为过热，如图 26-11。

**过烧组织：**淬火温度接近钢的熔化温度，晶界熔化，出现莱氏体及  $\delta$  共析体（黑色组织），

称为过烧。过烧是不可挽救的缺陷，如图 26-12。

表26-3 W18Cr4V不同处理工艺状态下的组织

序号	试样名称	处理状态	显微组织	浸蚀剂
1	W18Cr4V	铸态	M+A' +L' d+ δ 共析	4%硝酸酒精溶液
2	W18Cr4V	锻后等温退火	粒状 K+S	4%硝酸酒精溶液
3	W18Cr4V	1280℃油淬	M+K+A' 较多	4%硝酸酒精溶液
4	W18Cr4V	1280℃油淬+三次 560℃回火	回火 M+K+A' 少量	4%硝酸酒精溶液
5	W18Cr4V	过热	M+ A' +K 半网状	4%硝酸酒精溶液
6	W18Cr4V	过烧	M+A' +L' d 延晶界	4%硝酸酒精溶液

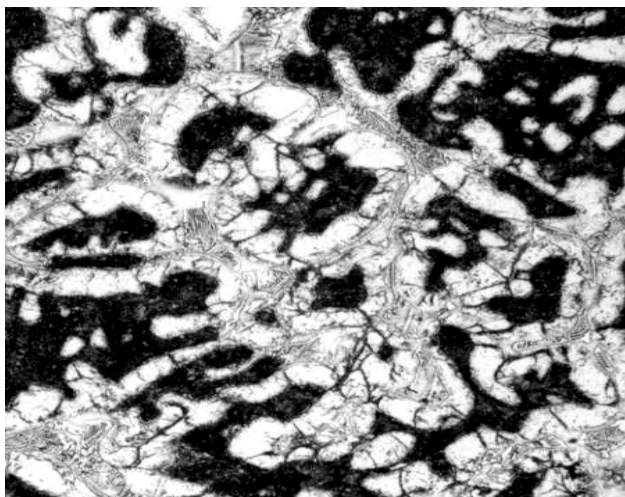


图 26-7 W18Cr4V 铸态组织  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

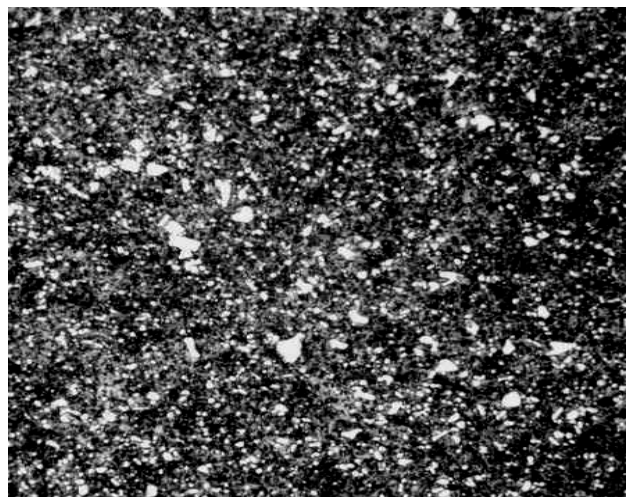


图 26-8 W18Cr4V 锻后等温退火  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

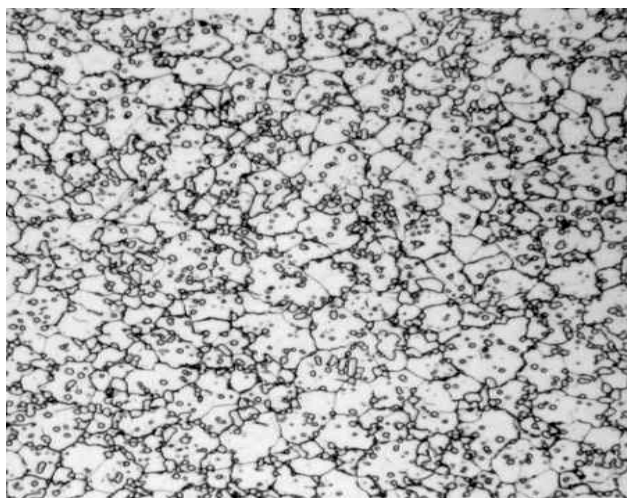


图 26-9 W18Cr4V 在 1280℃油淬  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

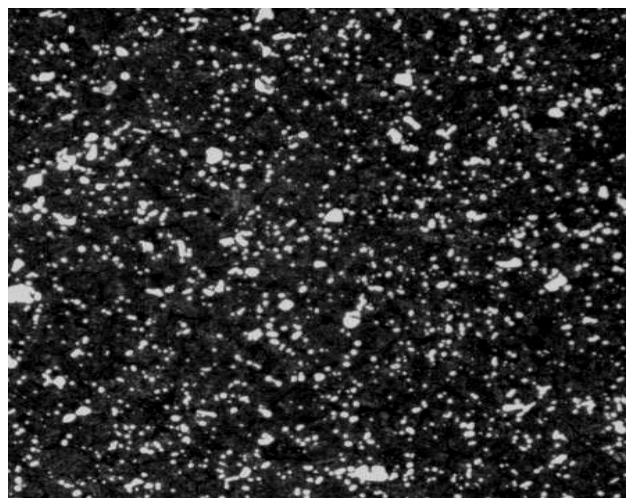


图 26-10 W18Cr4V 在 1280℃油淬+三次 560℃回火  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

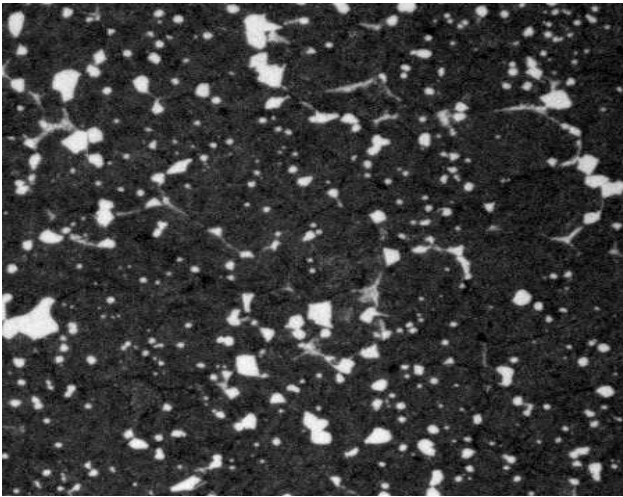


图 26-11 W18Cr4V 过热  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

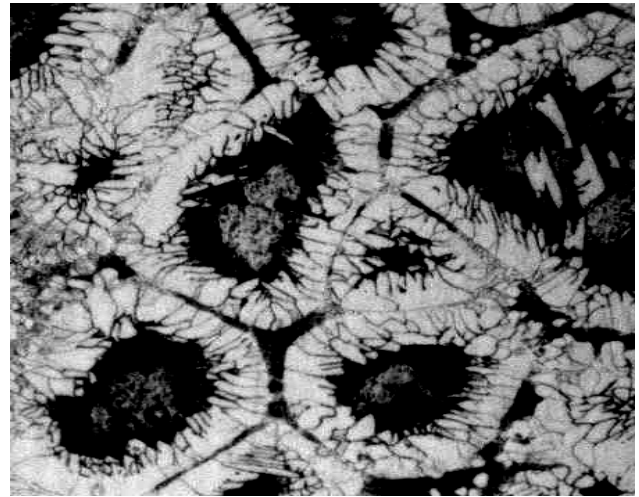


图 26-12 W18Cr4V 过烧  
浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

### 3、模具钢

模具是用于进行压力加工的工具，根据其工作条件及用途不同，常分为冷作模具、热作模具和成形模具（其中主要是塑料模）等三大类。模具品种繁多，性能要求也多种多样，可用于模具的钢种也很多，如碳素工具钢、（低）合金工具钢、高速钢、滚动轴承钢，不锈钢和某些结构钢等。

冷作模具实际温度不超过 200-300℃，尺寸较小，形状简单，负荷轻的小冲头、剪刀：T8~T12。尺寸较大，形状复杂，工作负荷较大，精度要求较高的模具：9Mn2V，CrWMn，9SiCr。承受重负荷，形状复杂，要求变形小，耐磨性高的大型模具，高铬钢：Cr12MoV，高速钢：W18Cr4V，W6Mo5Cr4V2。

热作模具型腔表面温度可达 600℃，包括热锻模、热挤压模和压铸模。热锻模具钢：5CrNiMo，热挤压、压铸模：3Cr2W8V，4Cr5MoVSi。

### 三、实验步骤及结果分析

- 1、认真观察全部金相试样，联系其化学成分，处理工艺进行思考，注意组织与性能之间的关系以及各种合金的工业意义。
- 2、每位同学绘出 4 个显微组织图，用箭头标明其中各种组织所在的位置，记下材料处理状态，浸蚀剂。
- 3、将实验结果填入表内，并分析其形成原因。

实验材料	热处理状态	显微组织

#### 四、讨论内容

- 1、对于同一种组织，是否会随浸蚀剂的变化而表现出不同？以 T12 为例进行说明。
- 2、分析 W18Cr4V 正常淬火组织、三次回火后的组织、过热组织、过烧组织形成的基本原理。
- 3、根据观察到的 W18Cr4V 和 T12 工具钢组织特征，选择你认为合理的热处理状态，并说明原因。
- 4、W18Cr4V 在 560℃ 长时间一次回火，是否可以代替 3 次回火？为什么？

## 实验 27 常用有色金属与特种合金的组织观察（2 学时）

### 一、实验目的

- 1、观察和了解纯铝、纯铜不同状态下的组织形态特征；
- 2、观察和了解 Al-Si 合金变质与未变质的组织形态特征、性能与用途；
- 3、观察和了解黄铜的组织形态特征、性能与用途；
- 4、观察和了解轴承合金的组织形态特征。

### 二、内容说明

#### 1、铝硅合金

铸造铝合金的流动性能好，可以进行各种铸造成形，生产形状复杂的零件。按主加合金元素的不同，铸造铝合金主要有 Al-Si、Al-Cu、Al-Mg 和 Al-Zn 系四种。Al-Si 系合金又称“铝硅明”，具有极好的流动性、小的铸造收缩率、优良的焊接性、抗蚀性以及力学性能，因此应用最广泛。

二元 Al-Si 合金的共晶点  $W_{Si}=11.7\%$ ，典型的 ZL102 合金的 Si 含量为  $W_{Si}=10\sim 13\%$ ，由于处于共晶点附近，合金的组织几乎全部由共晶组成。该合金的流动性好，铸件热裂倾向小，同时焊接性和耐蚀性相当好。一般情况下，ZL102 合金的共晶组织由粗大的针状硅晶体和少量的板块状初晶硅以及  $\alpha$  固溶体组成。由于合金的致密性差，吸气严重以及粗大的针状共晶硅的存在，从而导致合金的抗拉强度  $\sigma_b$  不超过 140MPa，延伸率  $\delta$  小于 3%。

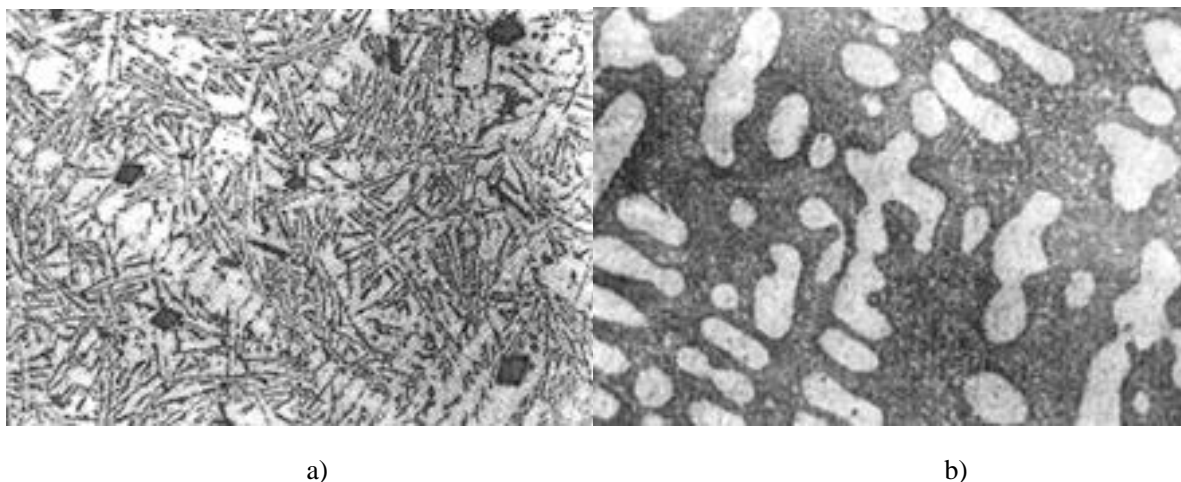


图 27-1 ZL102 合金变质处理前后的铸态组织：a) 变质前 b) 变质后 500×

浸蚀剂：0.5%HF 溶液

为了改善简单铝硅明的力学性能，生产上常用变质处理，即浇注前在熔融合金中加入占合金总重量 2~3%的变质剂，使粗大的针状共晶硅细化成细小条状或点状，并出现初晶  $\alpha$  固溶体。ZL102 合金变质处理前后的铸态组织如图 27-1a) 所示，由于合金的共晶点从 11.7%Si 右移，得



到亚共晶组织，其组织为树枝状初生  $\alpha$  相固溶体（白亮）及细小的共晶体( $\alpha + \text{Si}$ )(黑底)。变质处理后合金的抗拉强度  $\sigma_b$  达到 180MPa，延伸率  $\delta$  可达 8%。该合金仅适于制造形状复杂但强度要求不高的铸件，例如仪表、水泵壳体以及一些承受低载荷的零件。

## 2、铜合金

根据化学成分，铜合金可分为黄铜、青铜和白铜（铜镍合金）三大类。

黄铜是以锌为主要合金元素的铜锌合金。其中不含其它合金元素的黄铜称为普通黄铜（或简单黄铜）；含有其它合金元素的黄铜称为特殊黄铜（或复杂黄铜）。青铜是以除锌和镍以外的其它元素为主要合金元素的铜合金。按其所含主要合金元素的种类可分为锡青铜、铝青铜、铅青铜、铬青铜和铍青铜等。

工业上广泛使用的铜合金是黄铜和青铜，黄铜是以锌为主要元素的 Cu-Zn 合金。

**$\alpha$  单相黄铜** 含锌在 39% 以下的黄铜属单相  $\alpha$  固溶体，典型牌号为 H70（即三七黄铜）。其塑性和耐腐蚀性尚好。其金相组织特征是：铸态  $\alpha$  固溶体呈树枝状，铸态冷却较快时， $\alpha$  枝晶间可能出现  $\beta$  相（用氯化铁溶液腐蚀后，枝晶主轴富铜，呈亮白色，而枝间富锌呈暗色），经变形和再结晶退火其组织为多边形  $\alpha$  晶粒，有退火孪晶特征。由于各个晶粒方位不同，所以具有不同的颜色。退火处理后的黄铜能承受极大的塑性变形，可以进行深冲变形，常用于制造枪、炮的弹壳，故又称“弹壳黄铜”。单相黄铜的显微组织如图 27-2 所示。

**$\alpha + \beta'$  两相黄铜** 含锌量为 39%~45% 的黄铜为  $\alpha + \beta'$  两相黄铜，典型牌号有 H62（即四六黄铜）。在室温下  $\beta'$  相较  $\alpha$  相硬得多，因而可用于承受较大载荷的零件，适宜热加工，热轧成棒材、板材。 $\beta'$  是 CuZn 为基的有序固溶体，在低温下较硬且脆，但在高温下转变成  $\beta$  相，具有较好的塑性，所以两相黄铜可在 600℃ 以上进行热加工。 $\alpha + \beta$  两相黄铜显微组织：白亮色为  $\alpha$  相，暗黑色为  $\beta$  相。 $\alpha$  相的形态及分布与合金的成分及冷却速度有关。快冷时  $\alpha$  相呈拉长形态，有时呈针状，缓冷时则得均匀的  $\alpha$  晶粒。细针状分布的  $\alpha$  相较之粗针、块状、及网状分布的  $\alpha$  相强度要高。如图 27-3 所示。

## 3 轴承合金

轴承合金又称巴氏合金。巴氏合金是应用较多的轴承合金，常用来制造滑动轴承的轴瓦和内衬，轴瓦材料要求同时兼有硬和软的两种性能，因此轴承合金的组织往往是软、硬两相组成的混合物。例如，在软基体上分布着硬质点，铅基或锡基轴承合金就具有这种组织特点。



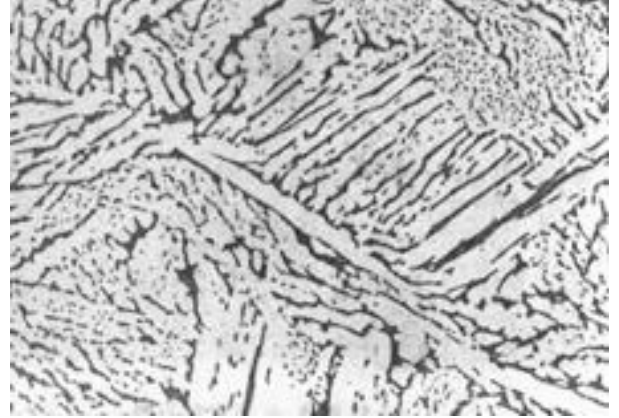
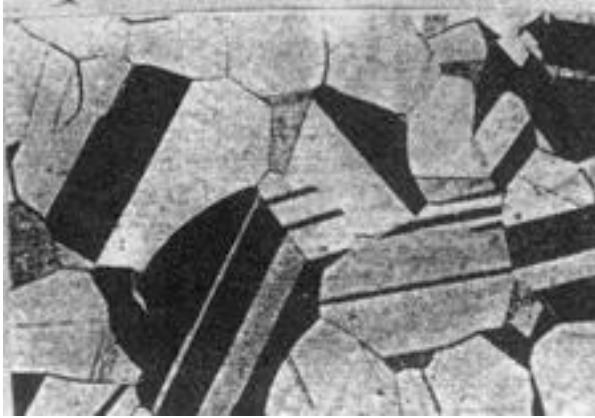


图 27-2  $\alpha$  单相黄铜(H70) (其上有退火孪晶) 500 $\times$       图 27-3  $\alpha + \beta$  两相黄铜(H62) 500 $\times$

浸蚀剂: 3%FeCl<sub>3</sub>+10%HCl 溶液

①锡基巴氏轴承合金，常用牌号为 ZChSnSb11-6，其成分是 83%Sn，11%Sb，6%Cu。组织是在  $\alpha$  固溶体（黑色的底）的基体上分布着四方形和三角形的  $\beta$  固溶体（白亮色），以及针状和星形的化合物 Cu<sub>3</sub>Sn（白亮色），如图 27-4。其中暗黑色部分为软基体  $\alpha$  相(Sb 在 Sn 中形成的固溶体)；白色方块为硬质点  $\beta'$ （以 SnSb 为基的有序固溶体)；而白色枝状析出物为 Cu<sub>3</sub>Sn 或 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 化合物( $\eta$  相)，作为阻碍  $\beta'$  上浮，减少偏析的作用。这种既硬又软的混合物，保证了轴承合金具有足够的强度与塑性的配合从而使轴承合金有良好的减摩性及抗振性。



图 27.4 铸态 ZChSnSb11-6 轴承合金 500 $\times$ 浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶

②铜铅合金，常用牌号为 ZQPb30，是含 30%Pb 的铅青铜，组织是铜的晶粒（亮色）和铅的夹杂物（黑色）。

### 三、实验所用设备与材料

1、设备：金相显微镜

2、材料：下列已制备好的金相样品及图片。

合金名称	热处理	浸蚀剂
纯铝	铸态	未浸蚀
纯铝	变形态	未浸蚀
纯铜	铸态	未浸蚀
纯铜	变形态	未浸蚀
H70 (α) 黄铜	铸态	3%FeCl <sub>3</sub> +10%HCl 溶液
H62 (α+β) 黄铜	铸态	3%FeCl <sub>3</sub> +10%HCl 溶液
ZL102 硅铝明	铸态(未变质)	0.5% HF 水溶液
ZL102 硅铝明	铸态(变质)	0.5% HF 水溶液
锡基巴氏合金	铸态	4%硝酸酒精溶液

#### 四、实验内容及结果分析

1. 认真观察全部金相试样，联系其化学成分，处理工艺进行思考，注意组织与性能之间的关系以及各种合金的工业意义。
2. 每位同学绘出 4 个显微组织图，用箭头标明其中各种组织所在的位置，记下材料处理状态，浸蚀剂及放大倍数。

#### 五、讨论内容

- 1、铸造 Al-Si 合金变质前后组织和性能有什么差异？
- 2、有哪两种黄铜？它们各有什么特点和应用？

## 实验 28 材料表面预处理综合实验(4 学时)

### 一、实验目的

- 1、掌握常规除油、除锈、光亮、粗化技术的工艺要点；
- 2、熟悉常用清洗液的配方组成、设计原则和配制方法；
- 3、掌握超声波清洗设备的使用方法和注意事项；
- 4、熟悉化学抛光和电化学抛光技术特点和应用范围；
- 5、掌握喷砂设备的使用方法和注意事项；
- 6、熟悉表面科学技术研究中试样准备和预处理的重要意义。

### 二、实验原理

复习教材和课堂笔记，并查阅相关文献。

### 三、实验内容

- 1、常用化学实验仪器清洗干燥和化学试剂的认识和使用；
- 2、试样准备、编号、记录和保存；
- 3、常规材料除油、除锈清洗液配制和清洗工艺实验；
- 4、超声波清洗设备的使用；
- 5、喷砂设备的使用方法和注意事项（选）；
- 6、直流电源的使用方法和注意事项（选）。

### 四、实验仪器和材料

- 1、**实验仪器：**恒温水浴、超声波清洗机、直流电源、抛光机、喷砂机；
- 2、**化学试剂：**氢氧化钠、盐酸、硫酸、硝酸、磷酸、氯化钠、冰醋酸、铬 酐、磺基水杨酸钠、双氧水、乌洛托品、抛光粉、石英砂等；
- 3、**清洗试样：**锈蚀螺钉、镀锌垫圈、油污小零件（不锈钢及铝、铜合金）等。

### 五、实验步骤

- 1、本实验有关内容同时进行，根据各小组预习情况进行分工；需交换实验内容时，在指导教师帮助下，由学生自己相互讲解说明。
- 2、分项实验步骤参考如下：
  - a. 玻器清洗：玻仪 — 工具 — 清洗剂清洗 — 蒸馏水清洗 — 干燥。
  - b. 试剂取用：试剂标签认识 — 量器容器选择 — 称取 — 浓度调整。
  - c. 试样准备：打磨 — 抛光 — 清洗 — 编号 — 清洗 — 干燥。

- d. 清洗液配制：试剂取用 — 配制 — pH 值调整 — 标签说明。
- e. 清洗工艺：控温 — 洗液取用 — 试样准备 — 搅拌方式 — 清洁检查 — 干燥保存。
- f. 超声波清洗：清洗槽准备 — 清洗剂准备 — 试样准备 — 清洗 — 干燥保存。

## 六、实验记录

- 1、纪录实验仪器名称型号、化学试剂名称纯度、试样材料及其他工具用品；
- 2、记录各项操作步骤及对其必要性的认识（包括误操作结果记录）；
- 3、记录观察到的全部正常及非正常现象；
- 4、记录指导教师的经验讲述。

## 七、实验报告

- 1、参照总则 2.2 之相关要求
- 2、独立完成实验报告

## 八、注意事项

- 1、根据实验室现有条件，每组同学选做部分实验
- 2、参照总则 2.1 和 3 的相关要求

## 实验 29 金属高温氧化速度的测定 (2 学时)

### 一、实验目的

- 1、熟悉常用金属材料高温氧化腐蚀的一般规律；
- 2、掌握材料加热设备的使用方法和注意事项；
- 3、掌握失（增）重法测定材料腐蚀速度的基本原理。

### 二、实验原理

金属材料的高温氧化一般属于化学腐蚀，其反应速度遵循有关化学反应的基本规律。但由于金属材料成分、组织、结构的差异，以及不同氧化温度下，反应机理的差异，氧化产物将呈现不同的性态，从而构成高温氧化反应动力学上明显的区别。

图 29-1 为典型的金属氧化动力学曲线类型，其中多数金属及其合金的高温氧化符合抛物线规律，即 Wagner 方程：

$$y^2 = kt + C$$

式中  $y$  为氧化膜厚度， $k$  反应速度参数， $t$  为氧化时间， $C$  为材料参数。

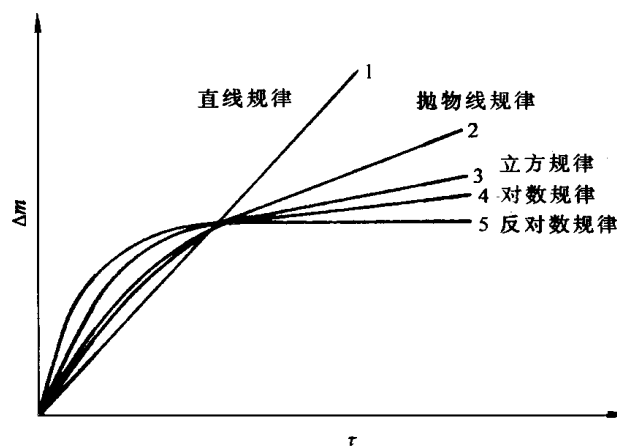


图 29-1 氧化速度规律

由于不同金属或合金的高温氧化膜性能差别很大，膜后测定十分复杂，甚至完全没有可能，例如氧化膜极易剥落的情况，此时测膜厚变化既不可能也无必要。所以，高温氧化速度通常采用以下方法表征（很多材料电化学腐蚀的宏观评价也用此法）：

1. 失重法：全面腐蚀，且产物易清除

$$v^- = (g_0 - g_1) / S \cdot t \quad (\text{g/m}^2 \cdot \text{h})$$

2. 增重法：全面或局部腐蚀，且产物牢固附着

$$v^+ = (g_2 - g_0) / S \cdot t \quad (\text{g/m}^2 \cdot \text{h})$$

3. 腐蚀速度法：全面腐蚀，且产物易清除

$$v_L = v^- \times 24 \times 365 / 1000 \rho = 8.76 v^- / \rho \quad (\text{mm/a})$$

其它单位：mdd ( $\text{mg/dm}^2 \cdot \text{d}$ )、ipy (in/a)、mpy (mil/a)

换算： $1\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} = 240\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{d} = 8.76/\rho \text{ mm}/\text{a} = 0.345/\rho \text{ in}/\text{a} = 344.9/\rho \text{ mil}/\text{a}$

其中  $g_0$ ,  $g_1$  ( $g_2$ ),  $S$ ,  $t$ ,  $\rho$  分别表示试样氧化前后的质量、试样原始表面积、氧化时间和试样材料的密度。

本实验即采用这些方法，对常用金属材料在不同温度条件下的氧化腐蚀规律进行初步的验证性认识。

### 三、实验内容

- 1、试样准备、编号、记录和保存；
- 2、常规材料在不同温度下的氧化腐蚀速度测定；
- 3、加热设备、电子天平的正确使用。

### 四、实验仪器和材料

- 1、**实验仪器**：烘箱、箱式电阻炉、电子天平、喷砂机、超声波清洗器、千分尺等；
- 2、**化学试剂**：氢氧化钠、盐酸、乙醇、石英砂等；
- 3、**试样**：碳钢、不锈钢和铜合金垫圈以及铝合金试块等。

### 五、实验步骤

- 1、根据各小组预习情况进行分工，本实验有关内容分别同时进行。
- 2、实验步骤参考如下：
  - a. 设备预热：分别由实验指导教师提前将恒温烘箱及箱式电阻炉预热至  $200^\circ\text{C}$ 、 $300^\circ\text{C}$ 、 $500^\circ\text{C}$  和  $700^\circ\text{C}$ 。
  - b. 试样准备：清洗—干燥（或喷砂）—称重—测量—编号—保存。
  - c. 氧化时间：不同温度下试样分别氧化 20min, 40min, 60min, 90min, 120min。
  - d. 试样称重：按时取样—空冷—称重—纪录。
  - e. 数据处理：计算平均腐蚀速度、绘制氧化动力学曲线。

### 六、实验记录

- 1、纪录实验仪器名称型号、试样材料及其它工具用品；
- 2、记录试样原始数据（氧化前后尺寸和重量）及观察到的全部试验现象；
- 3、记录指导教师的经验讲述。

### 七、实验报告

- 1、实验目的：参见本试验第一节
- 2、实验方法：包括实验原理、主要实验仪器、材料、检测手段及目的等，  
要求能够用明晰的语言叙述实验所涉及的理论和设备（仪器）工作原理
- 3、实验内容和步骤：包括操作流程、主要实验现象和结果记录等
- 4、实验结果及分析：根据所学知识，对实验结果做定性或定量分析
- 5、结论：用简练语言把上述试验和分析结果叙述出来。

## 八、思考题

- 1、金属高温氧化的基本规律是什么？
- 2、影响失重法腐蚀速度测定精度的主要原因有哪些？应如何注意改善？

## 实验 30 电极电位及极化曲线测定 (4 学时)

### 一、实验目的

- 1、掌握电极电位的测定方法
- 2、了解金属材料及环境介质对电极电位的影响
- 3、掌握测量电极极化曲线的方法

### 二、实验原理

#### 1、电极电位的定义

浸在某一电解质溶液中并在其界面发生电化学反应的导体称为电极。当金属与电解质溶液接触时，在金属/溶液界面处将产生电化学双电层，此双电层的金属相与溶液相之间的电位差称为电极电位。

单个电极上双电层电位差的绝对值，即单个金属的绝对电极电位无法测定。但两个绝对电极电位之差（即相对电极电位）是可以精确测量的。只要参比电极的电极电位（作为比较基准的电极电位）是稳定不变的，那么就可以测定所研究电极电位的相对值。

如果参比电极的电极电位是已知的，那么研究电极的电极电位就可以定量计算。国际上统一规定，氢离子活度为 1 的氢电极在 25℃ 和 1atm (0.1MPa) 氢分压时的电极电位为零，此即标准氢电极。但实际测量时，经常采用比较方便的甘汞电极、氯化银电极等作为参比电极，因此在记录、报告试验结果时，须说明是相对何种参比电极的。

#### 2、电极电位的测量技术

金属腐蚀研究中的电极电位测量一般有两类：1) 测量腐蚀体系无外加电流作用时的自然腐蚀电位及其随时间的变化；2) 测量金属在外加电流作用下的极化电位及其随时间的变化。

电极电位的测量比较简单，但技巧性强。除了研究电极外，还需要一个参比电极、电位测量仪和电解池。可以采用各种形状和尺寸的金属试样，这对电位测量结果几乎没有影响，但试样的表面状态（如洁净度、膜状态）则有显著影响。

测量电极电位时必须保证由研究电极和参比电极组成的测量回路中无电流流过，或流过的电流小到可以忽略的程度，否则将由于电极本身的极化和溶液内阻上产生的欧姆电压降而引起测量误差。因此电位测量仪器应具有很高的输入阻抗。稳定可靠的参比电极是保证准确测量电极电位的另一重要条件，参比电极是一种可逆的电极体系，在规定条件下具有稳定重现的可逆电极电位。参比电极与研究电极之间的溶液的欧姆降必定也会给电位测量带来误差，在高电阻率溶液或较大电流通过的情况下，这种误差更为显著。消除欧姆降一般可以采用下列方法之一：



- 1) 使鲁金毛细管尽量接近研究电极表面；
- 2) 调节鲁金毛细管相对研究电极于不同距离处测量电极电位，外推到距离为零，即为消除欧姆降影响的电位值；
- 3) 用高频电导仪预先测定鲁金毛细管与研究电极之间的溶液电阻，然后按外加电流计算修正欧姆降影响；
- 4) 用断电流法消除欧姆降；
- 5) 用桥式电路测量电极电位；
- 6) 采用背侧鲁金毛细管；
- 7) 采用可自动补偿欧姆降的电子电路。

### 3、极化曲线测量

在外加电流作用下，电极电位发生变化的现象称之为电极的极化，电极电位与电流（电流密度）的关系曲线称之为极化曲线。从极化曲线的形状可以看出电极极化的程度，从而判断电极反应过程的难易。极化曲线的测定及分析是揭示金属腐蚀机理和探讨控制腐蚀的措施的基本方法之一。

极化曲线测量技术一般可以分为两类：

- 1) 控制电流法（恒电流法），以电流为自变量，测量相应的电极电位随电流变化的函数关系，包括充电曲线法和断电流法（电极电位—时间曲线）；

- 2) 控制电位法（恒电位法），以电位为自变量，测量相应的电流随电位变化的函数关系。

控制电流法和控制电位法按其自变量变化程序又可分为稳态法、准稳态法及连续扫描法。稳态法是指，恒电位（流）测量时与每一个给定的电位（流）对应的响应电流（位）信号完全达到了稳定不变的状态。在测量技术上要求某参数完全不变是不可能的，考虑到仪器精度及实验要求，例如可以规定所测定的电位在 5 分钟内变化不超过 1~3mV 就可以认为达到稳态。稳态极化曲线都是用逐点测量技术获得的，此即经典的步阶法。准稳态法是指，恒电位（流）测量时与每一个给定的电位（流）对应的响应电流（位）信号未达到了完全稳态。因为稳态法耗费时间长，且随体系而异，实验测量不方便，测量结果重现性和可比性较差，为此可以人为规定在每个自变量的水平上停留规定的同样时间，在保持时间终了测读或记录相应的响应信号，接着调节到程序规定的下一个给定自变量。连续扫描法是指，利用线性扫描讯号控制恒电位仪或恒电流仪地给定自变量，使其按照预定的程序以规定的速度连续线性变化，同步记录相应的响应讯号随时间或给定自变量的变化，自动给出极化曲线。

控制电流法和控制电位法各有特点和适用范围。前者简单易行，主要用于一些不受扩散控制的电极过程和整个过程中电极表面状况不发生很大变化的电化学反应；后者一般用于研究一些在电极过程中表面发生很大变化的电极反应，如具有活化—钝化转变行为的阳极极化曲线。

极化曲线的测定需要同时测量研究电极上流过的电流和电极电位，因此一般采用三电极体系（见图 30-1），即由极化电源、电流与电位检测、电解池与电极系统构成两个回路：极化电路（电流测量回路）和电位测量回路。

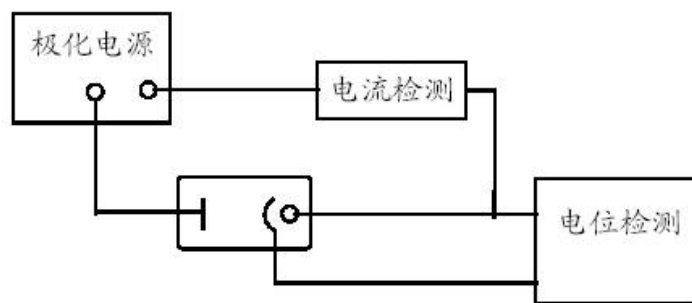


图30-1 极化曲线测试示意图

稳态极化测量最基本的极化电源是恒电位仪，其使用方法见附录 2。

测定动电位极化曲线的动态扫描测试系统由恒电位仪、信号发生器、记录仪等组成，现在一般使用恒电位与计算机联机使用，配合适当的测试软件进行自动测试，电化学测试系统的使用方法见附录 3。

### 三、实验仪器和材料

- 1、实验仪器：直流数字电压表、恒电位仪、电化学测试系统、烘箱、游标卡尺、极化池、饱和甘汞电极、铂电极、铜电极、碳钢电极、搅拌器等；
- 2、化学试剂：NaCl、NaOH 等。

### 四、实验步骤

#### 1、实验溶液的配制

- (1) 用去离子水配制 3.5%NaCl 溶液
- (2) 用去离子水配制 10%NaOH 溶液

#### 2、电极电位的测量

- (1) 按照附录 1 的方法制备铜电极和碳钢电极，用游标卡尺测定电极暴露面积（1cm<sup>2</sup> 左右），待用。
- (2) 分别采用直流数字电压表和恒电位仪（按照附录 2 恒电位仪使用方法）测定铜、碳钢电极在氯化钠和氢氧化钠溶液中的自腐蚀电位。

#### 3、极化曲线的测定

(1) 打开电化学测试系统，预热 10 分钟。

(2) 准备好电解池，以铜电极为研究电极、铂金电极为辅助电极、饱和甘汞电极为参比电极，分别将其与测试系统对应的接线柱相连，此时系统恒电位仪上显示的即为体系的开路电位(自腐蚀电位)。

(3) 按启动测试系统软件，设置电解池参数，选择动电位扫描测试方法。取文件名，设定起始扫描电位为相对开路电位-200mV，终止电位相对开路电位 1.0V，扫描速度为 0.66mV/s(扫描周期 1200s)，实验结束条件选中“实验结束”选项。按开始按钮，同时将恒电位仪面板上的极化按钮打至极化，测试开始。测试结束后，可以采用 Cview 进行图形处理，也可使用 Origin 软件对数据进行处理。

(4) 同样步骤分别测试扫描速度 1mV/s、2mV/s 铜电极试样的极化曲线。

(5) 采用碳钢作为研究电极进行同样的测试

(6) 同样的步骤，测定采用搅拌后的极化曲线。

(7) 测试结束，依次关闭恒电位仪、退出测试系统。

## 五、实验结果与思考题

1、记录不同的介质/材料的自腐蚀电位，分析影响因素有哪些？

2、比较各自极化曲线的不同，讨论扫描速度和外加搅拌对极化曲线影响？

## 实验 31 动电位扫描测定不锈钢点蚀电位 (2 学时)

### 一、实验目的

- 1、掌握点蚀电位的测定方法。
- 2、掌握钝态金属在腐蚀体系中发生局部腐蚀的情况下滞后环曲线的测定方法，并能从滞后环曲线上确定特征电位值。
- 3、了解点蚀电位（或称击穿电位）和保护电位的意义，并应用其定性地评价金属耐蚀性能，从而了解滞后环是钝态金属发生点蚀或缝隙腐蚀的特征曲线。

### 二、实验原理

不锈钢、铝等金属在氧化性介质中能形成稳定的氧化膜而使金属处于钝态，从而有着良好的耐蚀性。但在含有侵蚀性离子（如氯离子）的介质中，金属表面局部的钝化膜受侵蚀性离子的作用而遭到破坏，从而导致金属的点蚀（或在有人造缝隙的条件下产生缝隙腐蚀）。

目前较普遍的采用动电位扫描法来研究点蚀（或缝隙腐蚀），由测定出的特征电位值来评价金属或合金的点蚀（或缝隙腐蚀）倾向。当用动电位扫描法测定阳极极化曲线时，在电位值不太大的情况下，随着电位加大，电流密度变化不大并维持在一个很低的水平，这表明金属处于钝态。而当电位增大到某一数值时，由于金属表面上的局部的钝化膜受到破坏，形成了若干蚀点，电流密度随电位增大而迅速加大。这一电位值称作点蚀电位（击穿电位） $E_b$ ，显然  $E_b$  值越大，金属的耐点蚀性能越好。

当电流密度达到某一预定值（一般定为  $1000 \mu A/cm^2$ ）时，电位不再继续正向增大，而开始反向扫描。随着电位降低，电流密度也相应迅速减小，但回扫得电位—电流密度曲线一般不与正向扫描曲线相重合。此时表明原先产生的蚀点仍在继续发展，但随着电位不断下降，蚀点发展的速度越来越小，而当电位降低到某一数值时，蚀点重新被钝化，回扫曲线与钝态曲线相交，这一电位称作保护电位  $E_p$ 。显然， $E_p$  数值越大，表示蚀点重新钝化能力越强也即耐点蚀性能越好。

完整的电位—电流密度曲线的特点是形成一个“滞后环”（见图 31-1），通常我们以采用  $E_b$  和  $(E_b - E_p)$  值的大小来衡量金属的耐点蚀性能，即  $E_b$  越大， $(E_b - E_p)$  越小，耐点蚀性能越好。但应该指出， $E_b$  和  $(E_b - E_p)$  只在一定程度上反映

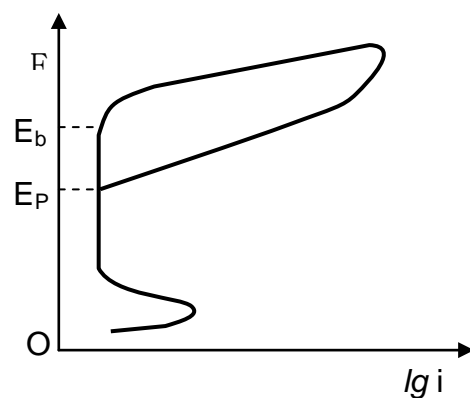


图 31-1 动电位测量  
阳极极化曲线模式图

了材料在介质中产生点蚀或缝隙腐蚀的倾向性，但它们不只与材料性质有关，还受到许多实验条件因素的影响，如溶液的组分，浓度、温度，金属表面状态以及电位扫描速度都会影响  $E_b$  和  $E_p$ ，同时  $E_p$  也与电位返扫时的预定电流密度值大小有关。

### 三、实验仪器及药品

- 1、实验仪器：电化学测试系统、烘箱、游标卡尺、极化池、量筒、烧杯、镊子、饱和甘汞电极、铂金电极、18-8 不锈钢电极、搅拌器等；
- 2、化学试剂：高纯氮（或高纯氩）、3.5%氯化钠溶液、酒精棉、水砂纸等。

### 四、实验步骤

- 1、把不锈钢试件切割并加工成  $1 \times 1 \text{cm}^2$  的工作电极。
- 2、为防止缝隙腐蚀的干扰，封样前将不锈钢试样放入  $50^\circ\text{C}$ 、20~30%的硝酸溶液中钝化 1 小时。
- 3、将制备好的试样，用游标卡尺测试试样研究面积，砂纸打磨光亮，酒精棉球擦干净，待用。
- 4、在极化池中注入 3.5%NaCl 溶液中，固定好研究电极、辅助电极及参比电极，使鲁金毛细管的尖端对准研究电极暴露表面的正中央（距离 1~2mm）。测试前向溶液中通入纯氮（或氩）进行半小时以上的预除氧。实验过程中保持对溶液连续通气。
- 5、接好测试系统，经教师检查无误后，打开仪器预热 10 分钟。
- 6、将打磨好的试样全浸于溶液中，放置约 10 分钟后，测量自腐蚀电位  $E_c$ ，直到取得稳定值为止，记录之。
- 7、按照附录 3 电化学测试系统的操作规程，启动测试系统软件，设置电解池参数，选择动电位扫描测试方法。取文件名，设定起始扫描电位为相对开路电位-100mV，终止电位相对开路电位 1.8V，试验结束条件选择“扫描反向”，设定“电流 ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )”  $\langle 0.1$  和“电流 ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )”  $\rangle 0.5$ ，分别采用不同的扫描速度（0.66mV/s、1.5mV/s、3mV/s）测定极化曲线，当回扫曲线与钝态曲线相交，结束实验。测试结束后，可以采用 Cview 进行图形处理，也可使用 Origin 软件对数据进行处理。

### 五、实验结果与处理

- 1、根据所测得的阳极极化曲线，确定 18-8 不锈钢的  $E_b$  和  $E_p$ ，讨论 18-8 不锈钢在含氯离子介质中的点蚀情况。
- 2、以阳极极化曲线上对应电流密度 10 或  $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  的电位中最正的电位值（符号  $E'_{b10}$  或  $E'_{b100}$ ）来表示点蚀电位。

- 3、记录点蚀电位  $E'_{b10}$  或  $E'_{b100}$  的测量值，单位用“V”表示，记录到小数点后第三位。并标明参比电极的种类，脱氧用的气体种类和电位扫描速度。

## 六、思考题

- 1、不锈钢在氯化钠水溶液中的滞后环曲线是否可以用恒电流法来测量？
- 2、为什么不锈钢在氯化钠溶液中阳极极化曲线没有活化/钝化过渡区？
- 3、为什么可以用  $E_b$  和  $E_p$  来评价材料的点蚀倾向？而不能用  $E_b$  和  $E_p$  来评价材料的耐点蚀性能？  
不同的扫描速度对曲线特征参数有何影响？

## 实验 32 不锈钢表面电化合成导电涂层的工艺实验（4 学时）

### 一、 实验目的

- 1、 掌握恒电流法合成聚吡咯的工艺方法
- 2、 掌握循环伏安法合成聚吡咯的工艺方法
- 3、 比较恒电流法合成与循环伏安法合成工艺差别
- 4、 学会利用 SEM 和红外光谱分析涂层表面特征

### 二、 实验原理

#### 1、 恒电流法

恒电流法是控制被测电极的电流密度，使其分别恒定在不同数值上，然后测定与每一个恒定的电流密度相对应的电位值。将测得的这一系列的电位值记下后，与电流密度在平面坐标系中标出一一对应的点，连接这些点组成的曲线，即为极化曲线。

用恒电流法测得的极化曲线反映了电极电位是电流密度的函数。恒电流法比较容易操作，是常用的极化曲线测量方法。恒电流法测量极化曲线的设备与方法如图 32-1 恒电流法测极化曲线所示。

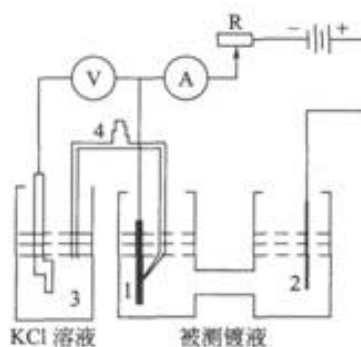


图 32-1 测试装置示意图

在 H 形电解槽中放入被测镀液，被研究电极(阴极)1 和辅助电极(阳极)2 分别安置在 H 形电解槽的两端。为了维持电路中电流的恒定，外线路的变阻器 R 的电阻值要远大于 H 电解槽的电阻(100 倍以上)。调节 R 使电流表 A 上的值依次恒定，可从电位计 V 上依次测得相应的电极电动势。由于参比电极 3 的电位值是已知的，因此可以求出待测电极不同电流下的电极电位。为了消除 H 形电解槽中溶液的欧姆电位降的影响，盐桥 4 的毛细管尖端应尽量靠近待测电极 1 的表面。参比电极不直接放入被测电解液也是为了消除电解液对参比电极电位的影响。参比电极通常都是放置在 KCl 溶液中。有时在这两个电解池中间还加一个装有被测镀液的电解池，再增加一个盐桥，使参比电极电位更少受到影响。

## 2、循环伏安法

### (1) 循环伏安法概念

循环伏安法(Cyclic Voltammetry)一种常用的电化学研究方法。该法控制电极电势以不同的速率，随时间以三角波形一次或多次反复扫描，电势范围是使电极上能交替发生不同的还原和氧化反应，并记录电流-电势曲线。根据曲线形状可以判断电极反应的可逆程度，中间体、相界吸附或新相形成的可能性，以及偶联化学反应的性质等。常用来测量电极反应参数，判断其控制步骤和反应机理，并观察整个电势扫描范围内可发生哪些反应，及其性质如何。对于一个新的电化学体系，首选的研究方法往往就是循环伏安法，可称之为“电化学的谱图”。本法除了使用汞电极外，还可以用铂、金、玻璃碳、碳纤维微电极以及化学修饰电极等。

### (2) 基本原理

如以等腰三角形的脉冲电压加在工作电极上，得到的电流电压曲线包括两个分支，如果前半部分电位向阴极方向扫描，电活性物质在电极上还原，产生还原波，那么后半部分电位向阳极方向扫描时，还原产物又会重新在电极上氧化，产生氧化波。因此一次三角波扫描，完成一个还原和氧化过程的循环，故该法称为循环伏安法，其电流—电压曲线称为循环伏安图。如果电活性物质可逆性差，则氧化波与还原波的高度就不同，对称性也较差。循环伏安法中电压扫描速度可从每秒种数毫伏到 1 伏。工作电极可用悬汞电极，或铂、玻碳、石墨等固体电极。

### (3) 循环伏安法的应用

循环伏安法是一种很有用的电化学研究方法，可用于电极反应的性质、机理和电极过程动力学参数的研究。但该法很少用于定量分析。

- 电极可逆性的判断 循环伏安法中电压的扫描过程包括阴极与阳极两个方向，因此从所得的循环伏安法图的氧化波和还原波的峰高和对称性中可判断电活性物质在电极表面反应的可逆程度。若反应是可逆的，则曲线上下对称，若反应不可逆，则曲线上下不对称。
- 电极反应机理的判断循环伏安法还可研究电极吸附现象、电化学反应产物、电—化学—化学耦联反应等,对于有机物、金属有机化合物及生物物质的氧化还原机理研究很有用。

### (4) 循环伏安法的用途



- 判断电极表面微观反应过程
- 判断电极反应的可逆性
- 作为无机制备反应“摸条件”的手段
- 为有机合成“摸条件”
- 前置化学反应（CE）的循环伏安特征
- 后置化学反应（EC）的循环伏安特征
- 催化反应的循环伏安特征

### 三、 实验仪器和材料

1、**实验仪器**：直流数字电压表、恒电位仪、电化学测试系统、烘箱、游标卡尺、极化池、饱和甘汞电极、铂金电极、不锈钢电极、搅拌器等；

2、**化学试剂**：苯胺（ani），吡咯（ppy），十二烷基苯磺酸钠（SDBS）、十二烷基硫酸钠（SDS），硫酸钠，NaCl、NaOH，丙酮等，所有试剂均为分析纯等。

### 四、 实验步骤

#### 1. 实验溶液的配制和涂层的制备过程

- （1）用去离子水配制聚吡咯涂层的合成溶液为 0.4M 吡咯+0.15M 十二烷基硫酸钠（SDS）
- （2）试样制备：将不锈钢板材线切割成大小为 10mm×10mm 的试样，并在一端焊上铜导线作为电极引线。用环氧树脂封装试样的非工作表面。实验前，工作表面经水磨砂纸打磨、丙酮和蒸馏水清洗。
- （3）合成采用双电极体系，辅助电极为不锈钢薄片，工作电极为 304 不锈钢（10mm×10mm）。工作电极经 240<sup>#</sup> 砂纸打磨，乙醇去水，丙酮除油。合成电流密度为 2.5mA·cm<sup>-2</sup>，合成时间为 15 分钟。合成后的涂层用蒸馏水冲洗
- （4）合成采用三电极体系，参比电极为饱和甘汞电极，辅助电极为铂片。合成溶液为上述配置好的电解质溶液。合成聚吡咯涂层的扫描电位区间为-0.2~1.0V<sub>SCE</sub>，扫描速率为 30mV/s，循环 10 次。

#### 2. 腐蚀电化学测量

腐蚀电化学测量使用三电极体系，辅助电极为铂片，参比电极为饱和甘汞电极（SCE）。为快速评定涂层的耐蚀性能，选择 0.1M HCl 水溶液为腐蚀介质。腐蚀电化学测试包括开路电位和极化曲线。

电化学测量采用三电极电解池。工作电极包括没有涂层保护和有聚吡咯涂层保护的不锈钢试样，极化电位介于 $-1.2\sim-0.7V_{SCE}$ 间，极化时间为 5min。辅助电极为铂片。参比电极体系由饱和甘汞电极(SCE)。

### 3. 极化曲线的测定

(1) 打开电化学测试系统，预热 10 分钟。

(2) 准备好电解池，以涂有导电涂层的电极为研究电极、铂金电极为辅助电极、饱和甘汞电极为参比电极，分别将其与测试系统对应的接线柱相连，此时系统恒电位仪上显示的即为体系的开路电位（自腐蚀电位）。动电位极化曲线测量采用电化学工作站进行测量。电位扫描速度为  $20mV/min$ ，扫描起始电位为低于开路电位 $-250mV_{SCE}$ 。

(3) 按启动测试系统软件，设置电解池参数，选择动电位扫描测试方法。取文件名，设定起始扫描电位为相对开路电位 $-200mV$ ，终止电位相对开路电位  $1.0V$ ，扫描速度为  $0.66mV/s$ （扫描周期  $1200s$ ），实验结束条件选中“实验结束”选项。按开始按钮，同时将恒电位仪面板上的极化按钮打至极化，测试开始。测试结束后，可以采用 Cview 进行图形处理，也可以使用 Origin 软件对数据进行处理。

(4) 测试结束，依次关闭恒电位仪、推出测试系统。

### 4. 表面分析

采用扫描电镜 SEM(Philips XL30)观测试样的表面形貌。表面成分分析采用能谱分析仪 EDX(Philips XL30)。

### 5. 光谱分析

采用美国 Nicolet 公司的 Magn-560 红外光谱分析仪对聚苯胺涂层进行定性分析。

## 五、 实验结果与思考题

- 1、记录导电聚合物的自腐蚀电位，对比分析恒电流和循环伏安法合成导电涂层的差异？
- 2、利用红外光谱分析金属表面导电聚合物的成分？
- 3、利用 SEM 表征金属表面导电聚合物的形貌特征，比较两种合成方法合成涂层的表面形貌差别？

## 实验 33 金属材料热处理综合实验

### 一、概述

学习的目的在于应用，该实验的设置目的就是给大家一个将学到的知识用于实践的机会，在这个实验单元里，你可以将你在平时的学习中的疑问、实践中的问题设计一个实验方案，利用实验室现有的设备进行实施。通过实验，获得答案。让你在解决问题、克服困难的过程中得到学习的乐趣。

做实验前，必须认真查阅有关参考资料及实验指导书的有关章节，根据要求自定、选择全部或部分给定题目，自行拟定你认为可以达到解决问题的实验方案，并认证其可行性；设计实验报告的格式，其中包括实验目的、实验所需设备、仪器、及材料，实验步骤、及记录实验结果的图、表格式，交任课老师认可后方能进行实验。

必须以严谨、科学的态度认真完成实验的每个细节，认真做好实验原始记录，当实验结果出现问题时要联系课堂讲授的内容分析其产生的原因，及时调整实验方案，严禁弄虚作假。当实验仪器设备发生异常情况时要及时向指导老师报告，不得自行拆卸。

### 二、实验目的

1. 根据课堂教学的内容及前面实验的实践，自行设计一个正确的热处理生产上的一般实验方案。解决实践中提出的问题；
2. 进一步熟悉含碳量、加热温度、冷却方式、及回火温度对热处理组织转变的影响规律；
3. 熟悉实验基本步骤的编写、实验数据的收集和处理、实验图表的设计与绘制、实验报告的编写。

### 三、实验内容

#### (一) (7选6)

1. 可根据你在平时学习和实践中发现的问题自行设计本次实验的内容和方案。
2. 由于保管员的失误，不慎将 20 钢、45 钢、T12 混同当 45 钢发出，制成一批齿轮，该齿轮需淬火回火处理，得以 HRC35~38。问这批齿轮在生产和使用时将产生什么后果？为什么？用实验加以验证，并通过观察组织和性能测试进行全面分析。
3. 你有几种方法可以将上题中的三种材料区别开来？用其中一种方法加以验证。
4. 20 钢、45 钢、T12 钢分别属于哪类钢？常作何用？
5. 为满足切削加工要求，它们应分别采用何种预先热处理？请作出三种钢的预先热处理工艺曲线，（加热温度、保温时间、冷却方式）加热时间按 1 分钟/mm 计算。并用实验进行验证经预

先热处理以后，材料是否满足切削加工要求。

6. 上题中如果将 45 钢、T12 钢两种材料分别按对方的热处理方式进行工艺实施，你估计在工艺性能及机械性能上将会出现什么问题？请一试，并与试验后的结果对比。

7. 如将 20 钢、45 钢分别改用 20Cr 和 40Cr，热处理工艺应该作何改变？改变后其组织和性能将发生哪些变化？为什么？

思考题：逐一或综合回答你选择的问题。请附有说服力的实验数据、图表、金相图片等。

(二)

1	退火 (正火)	材 料	T10 钢手工废锯条 1 根
		退火温度	750℃~770℃
		保温时间	3~5 分钟 (锯条加热部热透)
		冷却方式	随炉温冷却 (出炉空冷)
		检 验	弯折锯条比较其强度及塑性的变化
2	淬 火	材 料	T10 钢手工废锯条 1 根
		淬火温度	770℃~790℃
		保温时间	3~5 分钟
		冷却方式	水中急冷
		检 验	①观察锯条淬火部位呈何颜色 ②手折锯条看看结果如何
3	回 火	材 料	淬火后的锯条 1 根
		回火温度	350℃~450℃
		保温时间	10—20 分钟
		冷却方式	空冷
		检 验	锯条是否具有一定的弹性
4	弹簧制作 I	材 料	低碳钢丝 1 根
		制作方法	将 φ2 钢丝在芯棒上绕制成弹簧
		淬火温度	820℃~850℃
		冷却方式	水中急冷
		检 验	拉、压弹簧，观察结果
5	弹簧制作 II	材 料	65Mn 钢丝 1 根
		工 艺	淬火+中温回火(退火)
		检 验	弹簧功能

6	榔头工艺流程	材 料	45 钢手工榔头
		工 艺	淬火+回火（不同冷却方式\回火温度）
		硬度检测 I	原状态下的榔头硬度值
		硬度检测 II	中间状态下的榔头硬度值
		硬度检测 III	最终状态下的榔头硬度值

思考题：

1. 试叙述热处理的特点，热处理的三个过程。
2. 解释名词：正火、退火、淬火、回火、调质、淬硬性、淬透性、洛氏硬度。
3. 试述正火目的、退火目的、淬火目的、回火目的，为什么淬火后要进行回火。
4. 回火分类，回火温度对钢的性能影响如何？
5. 45 钢制作的铁锤要采取什么样的回火方法？
6. 什么叫表面淬火？什么情况下零件需要表面淬火？
7. 弹簧淬火时常见的缺陷及防止措施？提高弹簧质量的措施？
8. 钢经淬火后为什么一般都要及时进行回火？回火温度不同，钢的机械性能变化趋势如何？
9. 某厂生产一批齿轮，材料为 45 钢。要求齿面硬度 HRC50~56。采用的工艺路线：下料→锻造→正火→粗车→淬火+高温回火→精车、齿加工→齿面表面淬火+低温回火→磨削→成品。试分析热处理工艺这样安排的原因，各热处理工序有何作用？

（三）

1. 查阅资料制定 20、45、T12 钢试样的淬火（淬火介质：水、油、空气）、回火（低温、中温、高温）、正火、退火等工艺的具体工艺参数和工艺路线。
2. 预测在所制定工艺下得到的结果（硬度、显微组织）。
3. 按照工艺路线到实验室进行实验，测定、观察实验结果，并拍出照片。
4. 比较预测和实测结果的符合程度，如果有不同，分析其原因。
5. 对结果进行分析总结，并举例说明每种工艺的应用。

#### ☆ 有关安排

学生分组：按学号分组，第一、二、三和四组各 9 人，第五、六、七和八组各 8 人；

时间安排：

第一天：指导教师讲课，学生分组及分组讨论，设计实验方案及其审定；

第二天：领取实验样品，进行原始样品的制备及其组织的观察与分析，各种热处理工艺的实  
施；

第三天：热处理后样品金相组织样品的制备，显微组织的观察与分析；

第四天：金相组织的拍摄，样品的回收，实验场地的清扫工作。

#### 四、实验仪器

1. 4 千瓦箱式电阻炉（最高加热温度 1000℃）、4 千瓦箱式电阻炉（最高加热温度 1300℃）  
各一台；
2. 金相切割机、镶嵌机、预磨机、抛光机、各数台；
3. 金相显微镜若干台；
4. 布洛维硬度计若干台；
5. 金相摄像机一台。

#### 五、实验报告

- 1、实验报告题目：

##### 热处理专业综合实验

##### 热处理工艺对碳钢显微组织及力学性能的影响

- 2、实验报告撰写：

实验报告包括实验目的、实验方法与原理（包括设备仪器及各种原材料、实验原理、实验方案及具体步骤）、实验结果与分析、结论、心得体会。要求不少于 15 页。

撰写实验报告时要求回答一下几个问题：

1) 由于保管员的失误，不慎将 20 钢、45 钢、T12 混同当 45 钢发出，制成一批齿轮，该齿轮需淬火回火处理，得到 HRC35~38。问这批齿轮在生产和使用时将产生什么后果？为什么？试从组织和性能全面分析。

2) 你有几种方法可以将上题中的三种材料区别开来？

3) 20 钢、45 钢、T12 钢分别属于哪类钢？常作何用？

4) 为满足切削加工要求，它们应分别采用何种预先热处理？请作出三种钢的预先热处理工艺曲线，（加热温度、保温时间、冷却方式）加热时间按 1 分钟/mm 计算。

5) 上题中如果将 45 钢、T12 钢两种材料分别按对方的热处理方式进行工艺实施，你估计在工艺性能及机械性能上将会出现什么问题？

#### 六、参考资料

1. 热处理手册/中国机械工程学会热处理专业分会《热处理手册》编委会编. -机械工业出版社, 2003 年
2. 钢的热处理/刘永詮编. -冶金工业出版社, 1987 年
3. 金属力学性能/束德林编. -机械工业出版社, 1999 年
4. 热处理炉的温度测量与控制/陈宗浩编著. -机械工业出版社, 1990 年  
等等。

## 七、考核方法

依据学生在实验过程中的态度及表现、实验操作技能及效果、实验报告质量综合评定实验课的成绩, 优、良、中、及格、不及格五级评定。

### 34 附录 1 电化学试样的制备

电化学试样的一种较常用的制备方法，是用树脂镶制金属试样，其基本步骤如下：

- 1、将金属试样的所有面都用金相砂纸打磨光亮，然后用清水洗净待用。
- 2、用加热的电烙铁的尖端蘸少许焊油，再接触焊丝待其熔化后，将带有塑料套的铜丝焊在金属试样上。
- 3、将锯好的有 5 毫米厚的聚氯乙烯套圈打磨平整待用。
- 4、配制粘结剂，以环氧树脂封样为例，将环氧树脂与固化剂以 4：1 配制，搅拌 10 分钟左右，然后把塑料圈放在平滑的玻璃板上，把金属试样放在聚氯乙烯圈内中央部分。
- 5、把配制好的树脂倒入摆好金属试样的聚氯乙烯塑料圈内。
- 6、24 小时固化好的金属试样就可以进行磨制、抛光。

注意：焊接金属试样时，因电烙铁尖端部位温度最高，应用尖端部分进行焊接，焊接时要分别在金属试样和铜导线尖端上焊上点焊锡丝，然后把 2 个焊锡点进行焊接，既容易焊上又能焊牢固。

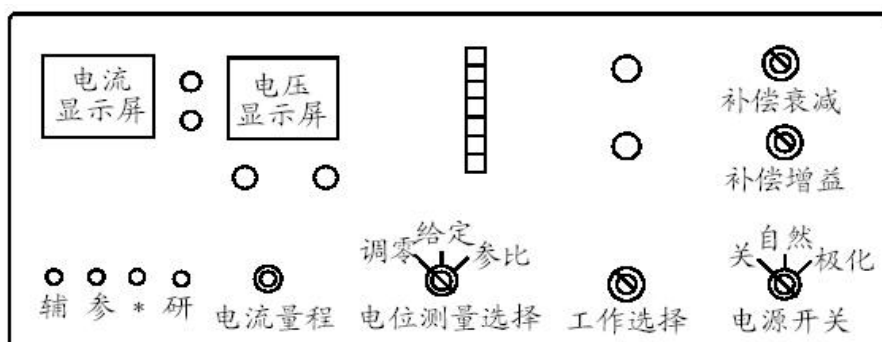


## 35 附录 2 HDV-7 型恒电位仪使用方法

### 1、准备工作

按仪器面板所示把“研究”与“\*”接线柱分别用两根导线与研究电极连接，把参比电极和辅助电极接到对应接线柱。应使研究电极与“研究”接线柱的接线截面积不小于  $1\text{mm}^2$ 。

若需外接精密电流表，应接在辅助电极与“辅助”接线柱之间。置“电位量程”于“-3~+3V”档，“补偿衰减”置于“0”，“补偿增益”置于“1”才可通电。



HDV-7 型恒电位仪面板结构

### 2、无补偿恒电位极化测量

置“工作选择”于“恒电位”，“电源开关”于“自然”，指示灯亮表示电源接通，预热15分钟。

“电位测量选择”置于“调零”，旋“调零”电位器，使电位表读数为“0”。

置“电位测量选择”于“参比”，读下自腐蚀电位。注意选择适当的“电位量程”。

把“电位测量选择”置于“给定”，旋动“恒电位粗调”及“细调”，使给定电位等于自腐蚀电位。

把“电位测量选择”置于“给定”，“电源开关”置于“极化”，仪器即处于恒电位极化工作状态。

调节“恒电位粗调”与“细调”，进行无补偿阴极极化和阳极极化实验。

### 3、恒电流极化测量

置“工作选择”于“恒电流”，“电源开关”于“自然”，“电位测量选择”于“参比”，则电位表指示出“研究电极”相对于“参比电极”的自腐蚀电位。

按实际需要选择“电流量程”。置“电源开关”于“极化”，仪器即处于恒电流极化工作状态，用“恒电流粗调”和“细调”调节极化电流，读取相应的极化电位。

实验完毕，与恒电位法一样关机。

注意：

- 1) 要改变“工作选择”时，应先把“电源开关”置于“自然”，待“工作选择”选定后再拨到“极化”。
- 2) 作恒电位测量前，“电流量程”应置于最大。极化电流不得大于“电流量程”所示值。
- 3) 实验过程中要严防测量系统断路，包括参比电极、盐桥、接线头等。