



普通高等教育“十三五”规划教材

# 金属材料 实验教材

魏坤霞 主 编

刘 亚 王芝秀 王世颖 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十三五”规划教材

# 金属材料实验教材

魏坤霞 主 编

刘 亚 王芝秀 王世颖 副主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书涉及金属材料专业课程中典型的、共性的实验,包括金相组织观察、金属热处理、塑性变形、金属表面改性工艺方法、金属焊接、材料物理性能、金属腐蚀防护、X 衍射及电子显微分析、外场处理、块体材料纳米化等专业主干课程的共 42 个实验。其中囊括了以提高学生科学研究能力和创新实践能力为目标的材料综合性、设计性、探索性及研究创新性实验。本教材旨在为金属材料专业课程的相关实验教学提供指导和帮助。

本书可作为高等院校材料类专业本科生系列课程实验教学的教材,也可供有关教师、研究生及工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

金属材料实验教材 / 魏坤霞主编. —北京: 中国石化出版社, 2016. 4  
普通高等教育“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-5114-3832-4

I. ①金… II. ①魏… III. ①金属材料-实验-高等学校-教材 IV. ①TG14-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 055567 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

## 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 8.75 印张 216 千字

2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

## ❖ 前 言 ❖

金属材料是一门具有很强实践性的学科,实验教学是金属材料专业教学的重要组成部分。学生在学习专业课程书籍和相关文献的基础上,通过实践活动,不断获取、验证专业知识和经验,掌握基本实验技能,培养独立从事科学研究的动手能力和发现问题、解决问题的思维能力。本书针对金属材料教学工作的特色,以基础技能素质训练、基本素质训练和综合素质训练为手段,以锻炼和培养具有较强动手实践能力、敏锐问题感知能力、高效问题解决能力为目的,根据实验教学大纲的要求,编写而成。

本书不仅涉及金属材料专业课程中典型的、共性的实验,即金属材料科学基础实验、金属材料工程基础实验、材料性能检测实验、材料结构与成分分析实验四个模块,又在最后一部分特别编写了材料综合性、设计性与研究创新性实验,以期通过这些实验活动更好地培养学生的创新能力和科学研究思维。本书囊括了金相组织观察、金属热处理、塑性变形、金属表面改性工艺方法、金属焊接、材料物性性能、金属腐蚀防护、X衍射及电子显微分析、外场处理、块体材料纳米化等方面的42个实验。依据实验教学要求、课程安排和实验设备的具体条件,教师可以自主选择部分实验。

本书由常州大学材料科学与工程学院金属材料专业教师共同编写完成,魏坤霞任主编,刘亚、王芝秀、王世颖任副主编。具体参加编写工作的教师还有陈杨(实验5、18、19、30)、付猛(实验2、4、13)、胡静(实验7)、李海(实验3、8、9)、刘亚(实验26、27、28、31、37、39)、潘太军(实验21、22、23、24、25)、宋仁国(实验36)、涂浩(实验33)、王建华(实验34)、王世颖(实验6、29、附录)、王芝秀(实验12、20、40、附录)、魏坤霞(实验10、14、17)、魏伟(实验15、16、42)、吴长军(实验1、32、38)、谢飞(实验11、35、41)。本书的编写还得到了材料科学与工程学院陈智栋、胡静、苏旭平三位教授的悉心指导。

在编写过程中,也吸收了其他院校的实验教材、实验指导书、有关专著和论文,同时,中国石化出版社为本书出版也付出了大量劳动,谨此一并表达感谢。由于编写水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

# ❖ 目 录 ❖

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 第一章 金属材料科学基础实验 .....           | ( 1 )  |
| 实验 1 典型金属晶体结构的刚球堆垛模型分析 .....   | ( 1 )  |
| 实验 2 金相显微镜的构造、成像原理及使用 .....    | ( 4 )  |
| 实验 3 金相样品的制备与显微组织观察 .....      | ( 7 )  |
| 实验 4 铁碳合金平衡组织观察与分析 .....       | ( 9 )  |
| 实验 5 常用结构钢组织观察 .....           | ( 12 ) |
| 实验 6 位错蚀坑的观察 .....             | ( 14 ) |
| 第二章 金属材料工程基础实验 .....           | ( 18 ) |
| 实验 7 钢的普通热处理 .....             | ( 18 ) |
| 实验 8 淬火钢中马氏体形态观察 .....         | ( 22 ) |
| 实验 9 奥氏体晶粒度的测定 .....           | ( 24 ) |
| 实验 10 碳钢热处理后显微组织的观察与分析 .....   | ( 27 ) |
| 实验 11 钢渗碳后组织观察与分析 .....        | ( 31 ) |
| 实验 12 铸造工艺对金属铸锭组织的影响 .....     | ( 33 ) |
| 实验 13 金属的塑性变形与再结晶 .....        | ( 34 ) |
| 实验 14 典型焊接接头显微组织分析 .....       | ( 37 ) |
| 实验 15 铝合金轧制工艺实验 .....          | ( 39 ) |
| 实验 16 圆环镦粗法测定摩擦系数 .....        | ( 41 ) |
| 第三章 材料性能检测实验 .....             | ( 45 ) |
| 实验 17 金属材料的硬度测定 .....          | ( 45 ) |
| 实验 18 一次摆锤冲击弯曲实验 .....         | ( 54 ) |
| 实验 19 低碳钢的静拉伸实验 .....          | ( 56 ) |
| 实验 20 金属材料疲劳实验 .....           | ( 59 ) |
| 实验 21 材料表面预处理实验 .....          | ( 61 ) |
| 实验 22 电极电位和极化曲线测定 .....        | ( 62 ) |
| 实验 23 金属高温氧化速度的测定 .....        | ( 65 ) |
| 实验 24 动电位扫描测定不锈钢点蚀实验 .....     | ( 66 ) |
| 实验 25 不锈钢表面电化合成导电涂层的工艺实验 ..... | ( 68 ) |
| 第四章 材料结构与成分分析实验 .....          | ( 71 ) |
| 实验 26 X 射线衍射仪与材料物相分析 .....     | ( 71 ) |
| 实验 27 透射电子显微镜的结构、样品制备及观察 ..... | ( 72 ) |
| 实验 28 扫描电镜和能谱仪的结构、原理及其使用 ..... | ( 76 ) |
| 实验 29 电子背散射衍射技术的原理及其应用 .....   | ( 79 ) |

|                                           |         |
|-------------------------------------------|---------|
| 第五章 材料综合性、设计性与研究创新性实验 .....               | ( 84 )  |
| 第一节 综合性实验 .....                           | ( 84 )  |
| 实验 30 材料力学性能综合实验 .....                    | ( 84 )  |
| 实验 31 材料现代分析测试综合实验 .....                  | ( 87 )  |
| 实验 32 典型金属材料显微组织观察与分析 .....               | ( 88 )  |
| 实验 33 40CrNiMoA 钢齿轮轴断裂失效分析 .....          | ( 98 )  |
| 第二节 设计性实验 .....                           | ( 100 ) |
| 实验 34 钢的热处理工艺设计与组织性能分析 .....              | ( 100 ) |
| 实验 35 典型零件材料的选择与应用 .....                  | ( 104 ) |
| 第三节 研究创新性实验 .....                         | ( 106 ) |
| 实验 36 高强度铝合金应力腐蚀实验 .....                  | ( 106 ) |
| 实验 37 多元合金共渗表面改性技术在电力金具的应用研究 .....        | ( 108 ) |
| 实验 38 新型镀锌合金的成分设计 .....                   | ( 110 ) |
| 实验 39 油气钢管热浸共渗铝锌组织演变及耐蚀性研究 .....          | ( 114 ) |
| 实验 40 轧制与时效协同作用下 6000 系铝合金组织及性能演变规律 ..... | ( 116 ) |
| 实验 41 外加电场对粉末法渗硼、渗铝的作用机理与应用研究 .....       | ( 118 ) |
| 实验 42 块体纳米孪晶铜合金制备、组织与性能 .....             | ( 118 ) |
| 附录 .....                                  | ( 121 ) |
| 附录 1 常用浸蚀剂 .....                          | ( 121 ) |
| 附录 2 压痕直径与布氏硬度及相应洛氏硬度对照表 .....            | ( 122 ) |
| 附录 3 布氏硬度实验技术条件 .....                     | ( 123 ) |
| 附录 4 奥氏体晶粒度标准评级图 .....                    | ( 124 ) |
| 附录 5 常用钢的退火(正火)及淬火条件 .....                | ( 125 ) |
| 附录 6 淬火钢回火温度与硬度关系 .....                   | ( 126 ) |
| 附录 7 热处理方式符号及表示方法 .....                   | ( 127 ) |
| 附录 8 七大晶系 .....                           | ( 128 ) |
| 附录 9 HDV-7 型恒电位仪使用方法 .....                | ( 129 ) |
| 附录 10 电化学工作站使用方法 .....                    | ( 130 ) |
| 附录 11 电化学试样制备 .....                       | ( 131 ) |
| 参考文献 .....                                | ( 132 ) |

# 第一章 金属材料科学基础实验

## 实验 1 典型金属晶体结构的刚球堆垛模型分析

### 一、实验目的

(1) 熟悉面心立方、体心立方和密排六方晶体结构的空问模型；熟悉其中常用的晶面、晶向的几何位置、原子排列和密度。

(2) 熟悉三种晶体结构中四面体间隙和八面体间隙的位置和分布。

(3) 熟悉面心立方和密排六方晶体结构中最密排面的堆垛顺序。

### 二、概述

#### 1. 晶体结构模型

原子、离子、分子或它们的集团，按一定规则呈周期性重复排列，构成晶体。面心立方(FCC)、体心立方(BCC)和密排六方(HCP)是最典型的三种晶体结构。大多数纯金属属于这三类晶体结构。这三类结构的刚球模型、质点模型和晶胞中的原子数特征如图 1-1 所示。

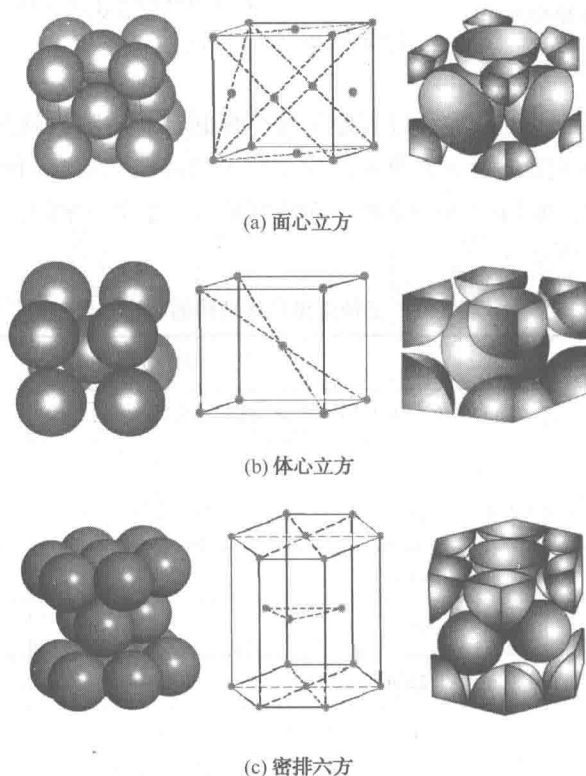


图 1-1 三种典型晶体结构的刚球模型、质点模型和晶胞中的原子数

2. 密勒指数

在晶体中，原子列的方向称为晶向；原子构成的平面称为晶面。为了便于确定和区别晶体中不同方向的晶向和晶面，国际上通用密勒指数来统一标定晶向指数和晶面指数。任一晶向指数代表晶体中相互平行并同向的所有原子列；任一晶面指数表示晶体中相互平行的所有晶面。

在立方晶系中，通常用晶向族和晶面族表示原子排列相同的晶向或晶面。立方晶系中，常见的晶向族有 $\langle 100 \rangle$ 、 $\langle 110 \rangle$ 、 $\langle 111 \rangle$ 等，其中 $\langle 100 \rangle$ 晶向族为立方晶胞的棱边， $\langle 110 \rangle$ 晶向族为立方晶胞的面对角线， $\langle 111 \rangle$ 晶向族为体对角线；常见的晶面族有 $\{ 100 \}$ 、 $\{ 110 \}$ 、 $\{ 111 \}$ 等，其中 $\{ 100 \}$ 为立方晶胞的表面， $\{ 110 \}$ 为两平行表面对应的面对角线与两棱边构成的面， $\{ 111 \}$ 为三个相邻表面的面对角线连在一起构成的面。不同晶体结构中，相同的晶向指数或晶面指数上的原子排列也不同。

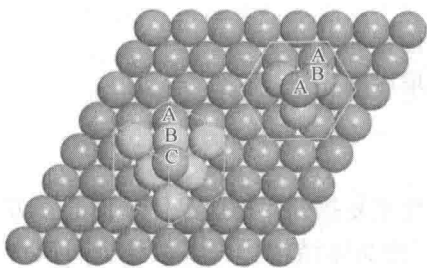


图 1-2 面心立方和密排六方晶体结构最密排面的堆垛顺序

3. 面心立方和密排六方晶体结构最密排面的堆垛顺序

面心立方和密排六方晶体结构均为等径原子最密排结构，二者致密度均为 0.74，配位数均为 12，它们的区别在于最密排面的堆垛顺序不同。面心立方晶你的最密排面 $\{ 111 \}$ 按 ABCABC……顺序堆垛，而密排六方晶体的最密排面 $\{ 0001 \}$ 按 ABABAB……顺序堆垛。A、B、C 均表示堆垛时原子所占据的相应位置，如图 1-2 所示。

4. 晶体中间隙

从原子排列刚球模型可见，除最近邻原子外，球间都有空隙，就是这些空隙构成了晶体中的间隙。尺寸较大的间隙，因具备溶入其他小原子的可能而被人们所重视。按周围原子的分布可将间隙分为两种，即四面体间隙和八面体间隙。其位置如图 1-3~图 1-5 所示。间隙的大小和数量如表 1-1 所示。

表 1-1 三种常见晶体结构的特征

| 结构特征   |         | 晶体结构类型         |                            |                |
|--------|---------|----------------|----------------------------|----------------|
|        |         | 面心立方 (A1, FCC) | 体心立方 (A2, BCC)             | 密排六方 (A3, HCP) |
| 晶胞内原子数 |         | 4              | 2                          | 6              |
| 配位数    |         | 12             | 8                          | 12             |
| 致密度    |         | 0.74           | 0.68                       | 0.74           |
| 间隙     | 四面体间隙数量 | 8              | 12                         | 12             |
|        | 四面体间隙大小 | 0.225R         | 0.291R                     | 0.225R         |
|        | 八面体间隙数量 | 4              | 6                          | 6              |
|        | 八面体间隙大小 | 0.414R         | 0.154R<100><br>0.633R<110> | 0.414R         |

注：R 为原子半径。

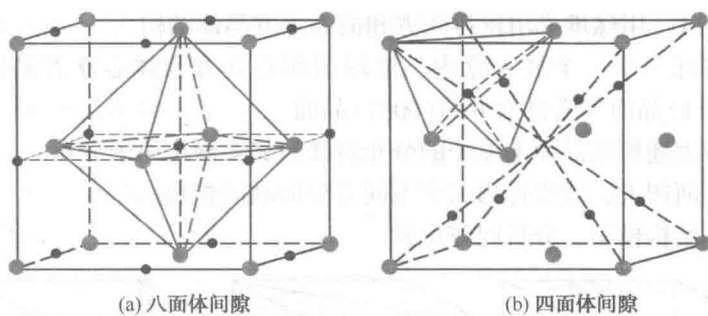


图 1-3 面心立方间隙

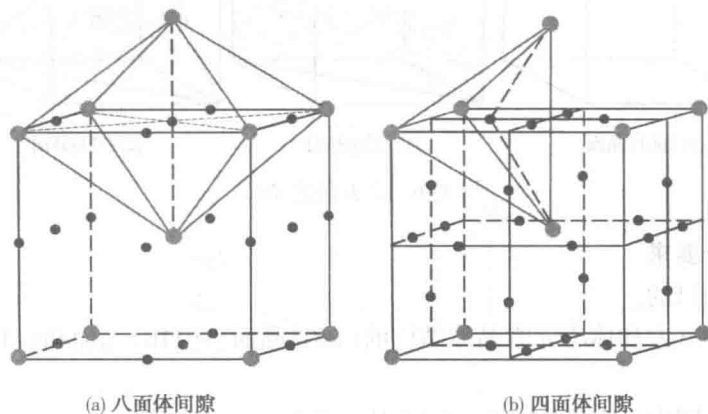


图 1-4 体心立方间隙

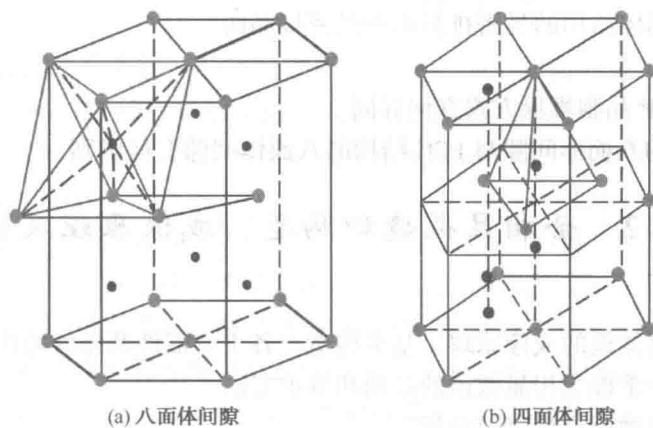


图 1-5 密排六方间隙

### 5. 晶面上原子面密度的计算

在立方晶胞中，常见的晶面族有  $\{001\}$ 、 $\{110\}$  和  $\{111\}$  等。其中， $(001)$ 、 $(110)$  和  $(111)$  晶面如图 1-6 所示。晶面上原子排列的紧密程度可以用  $h$  表示，即

$$h = S/S_0$$

式中， $S$  为晶面上所有原子所占面积之和； $S_0$  为晶面的总面积。

### 三、实验内容

实验用的材料及工具包括有机玻璃盒或玻璃盒、涂有凡士林油的乒乓球、医用镊子、晶体结构模型。实验步骤如下：

- (1) 参照图 1-1，用球堆垛出密排六方和面心立方晶体结构。
- (2) 用镊子将球一个一个放入盒内，堆垛出面心立方和体心立方晶体的(100)晶面、(110)晶面、和(111)晶面，密排六方的(0001)晶面。
- (3) 逐个分析上述所堆晶面上原子的分布特征，如实画出原子分布。
- (4) 在上述平面图上，至少标出三个不同方位的晶向指数。
- (5) 借助晶体结构模型，分析间隙位置。

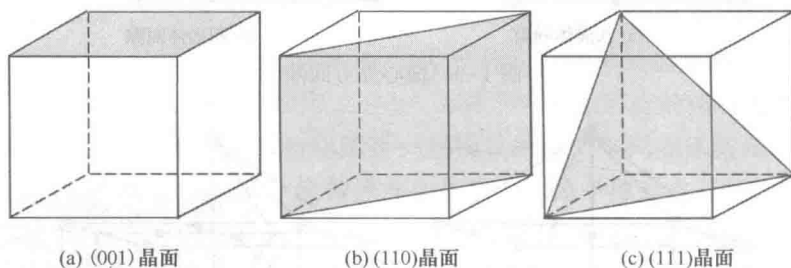


图 1-6 立方晶胞晶面

#### 四、实验报告要求

- (1) 简述实验目的。
- (2) 画出面心立方和体心立方晶体结构的(100)晶面、(110)晶面和(111)晶面的原子分布图。
- (3) 上述每个图中至少标出三个不同方位的晶向。
- (4) 求出上述各晶面的原子面密度。
- (5) 指出三种晶体结构的最密排晶面和最密排晶向。

#### 五、思考题

- (1) FCC 与 HCP 晶胞堆垛方式有何异同?
- (2) BCC 结构的八面体间隙与 FCC 结构的八面体间隙有何区别?

## 实验 2 金相显微镜的构造、成像原理及使用

### 一、实验目的

- (1) 了解金相显微镜的成像原理、基本构造、各主要部件及元件的作用。
- (2) 学习和初步掌握金相显微镜的使用和维护方法。
- (3) 利用金相显微镜进行组织分析。

### 二、概述

金相分析是研究材料内部组织和缺陷的主要方法之一，它在材料研究中占有重要的地位。利用金相显微镜将试样放大 100~1500 倍来研究材料内部组织的方法称为金相显微分析法，是研究金属材料微观结构最基本的一种实验技术。显微分析可以研究材料内部的组织与其化学成分的关系；可以确定各类材料经不同加工及热处理后的显微组织；可以判别材料质量的优劣，如金属材料中诸如氧化物、硫化物等各种非金属夹杂物在显微组织中的大小、数量、分布情况及晶粒度的大小等。

金相显微镜用于鉴别和分析各种材料内部的组织。原材料的检验、铸造、压力加工、热处理等一系列生产过程的质量检测与控制需要使用金相显微镜，新材料、新技术的开发以及

跟踪世界高科技前沿的研究工作也需要使用金相显微镜，因此，金相显微镜是材料领域生产与研究中研究金相组织的重要工具。

1. 显微镜的基本放大原理

如图 2-1 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 B''A''。显然显微镜的放大倍数(M)为

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

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

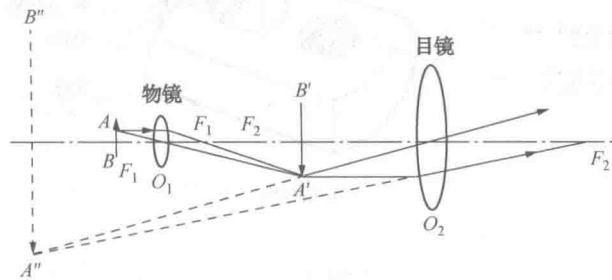


图 2-1 金相显微镜的光学原理示意图

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，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 2-2 为 XJP-3A 型显微镜的光学系统和外观结构图。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栏上，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像光线再经物镜组、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如下：

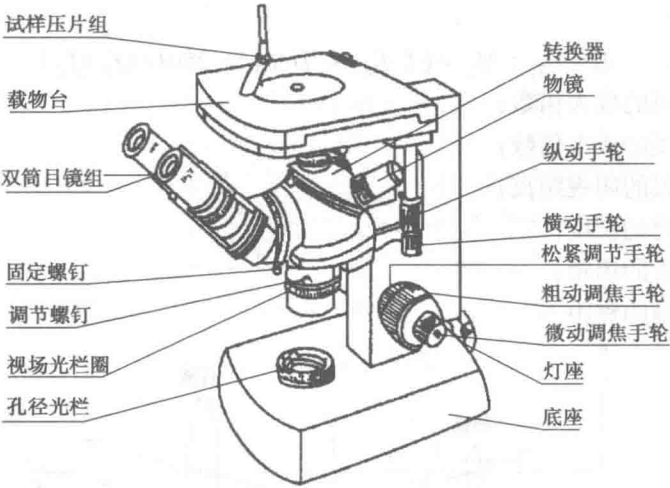
照明及光学系统——由装在底座内的低压灯泡、聚光镜、孔径光栏、反射镜、视场光栏和物镜、目镜等组成。它们的共同作用可产生符合要求的光线，使试样表面得到充分均匀的照明，并将从试样反射回来的光线送到观察者的眼中，使观察者能够看到经放大后的试样表面组织图像。

调焦装置——显微镜的两侧有粗调和细调手轮。旋转手轮可改变载物台的高度直至使目镜中看到的图像最清晰。

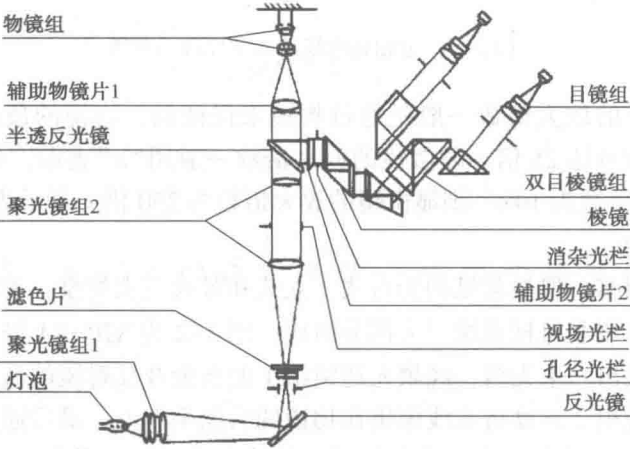
载物台——用于放置试样。可用手在水平面内向方向推动以选择所需的观察视场。

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。通过旋转物镜转换器与目镜配合可得到不同的放大倍数。

目镜筒——呈 45° 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。



(a) 结构图



(b) 光学系统图

图 2-2 XJP-3A 型双目金相显微镜

### 3. 金相显微镜的使用方法

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。

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上和目镜筒上，并使转换器旋转至固定位置。

将试样放在样品台中心，使试样观察面朝下。

转动粗调手轮使镜筒上升，同时用眼观察，使物镜尽可能接近试样表面然后反向转动手轮使镜筒逐渐下降。当视场亮度增强时再该用细调手轮调节，直到物像清晰为止。

适当调节孔径光栏和视场光栏以获得最佳质量的图像。用手轻轻推动载物台选择所需观察的视场。

#### 4. 注意事项

小心操作使用，光学系统不能自行拆卸。

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净。

显微镜的灯泡电源严禁直接接在 220V 的电源插座上。

旋转调焦手轮时动作要慢，碰到阻碍时不得强行转动。

### 三、实验内容

(1) 明确金相显微镜的光学原理。

(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及控制光线等。

(3) 实际操作金相显微镜、观察金相样品、测定晶粒大小并画出显微组织示意图。

### 四、实验报告要求

(1) 简述实验目的。

(2) 简述金相显微镜的基本原理和主要结构。

(3) 简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)。

### 五、思考题

(1) 电子显微镜的分辨率为什么比光学显微镜的分辨率高?

(2) 光学显微镜质量的优劣取决于哪几点?

## 实验3 金相样品的制备与显微组织观察

### 一、实验目的

(1) 掌握金相样品的制备过程。

(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实现的。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。

金相试样的制备主要包括取样、镶嵌、磨制、抛光和浸蚀等步骤。

#### 1. 取样

显微试样的选取应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号、02号、03号直至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 $90^\circ$ (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号、300号、400号直至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 $90^\circ$ 。

### 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

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的浸蚀表面,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入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。

## 三、实验内容

### 1. 实验所用设备及材料

主要设备及材料包括金相显微镜、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

每名同学取试样一块,按照下述试样制备方法进行操作:

(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。

#### 四、实验报告要求

(1) 简述实验目的。

(2) 简述金相试样组织分析原理及金相显微试样的制备过程。

(3) 绘制试样浸蚀后的显微组织示意图。

(4) 总结实验中存在的问题。

#### 五、思考题

(1) 金相试样的取样和镶样应该注意哪些问题?

(2) 总结金相试样的磨制和抛光时有什么技巧?

(3) 列举几种常见金属浸湿剂的配比。

## 实验 4 铁碳合金平衡组织观察与分析

### 一、实验目的

(1) 观察碳钢和铸铁试样在平衡状态下的显微组织。

(2) 学习用金相法确定钢的含碳量。

(3) 运用 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图分析各种显微组织形成过程。

### 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

铁素体(F): 是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 呈白色。

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 Fe<sub>3</sub>C 呈白亮色; 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。

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。

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

工业纯铁: 平衡组织为铁素体(F), 用 3%~5% 硝酸酒精腐蚀后 F 呈白色块状(图 4-1)。

亚共析钢: 平衡组织为铁素体+珠光体(P), F 呈白色块状, P 呈层片状, 但在低倍显微镜下呈黑色块状(图 4-2)。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 4-3)。

共析钢: 室温时的平衡组织为珠光体, 其组成为 F 和 Fe<sub>3</sub>C(图 4-4、图 4-5)。

过共析钢: 室温时的平衡组织为 Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub> 和 P。在显微镜下, Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub> 呈网状分布在层片状 P 周围(图 4-6)。

亚共晶白口铸铁：室温时平衡组织为  $P+Fe_3C_{II}+Ld$ 。网状的  $Fe_3C_{II}$  分布在粗大块状的  $P$  周围， $Ld$  则由条状或粒状的  $P$  和  $Fe_3C$  组成(图 4-7)。

共晶白口铸铁：室温时平衡组织为  $Ld$ 。 $Ld$  由黑色条状或粒状的  $P$  和白色基体  $Fe_3C$  组成(图 4-8)。

过共晶白口铸铁：室温时平衡组织为  $Fe_3C_I+Ld$ 。呈  $Fe_3C_I$  条状，而  $Ld$  则由条状或粒状的  $P$  和  $Fe_3C$  组成(图 4-9)。

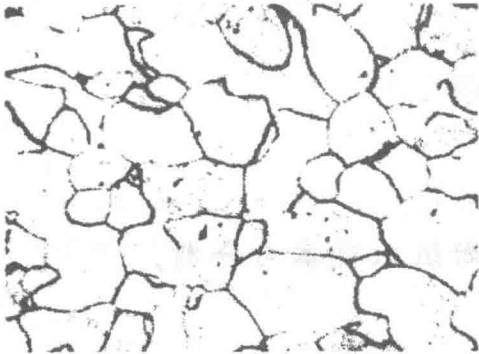


图 4-1 工业纯铁显微组织

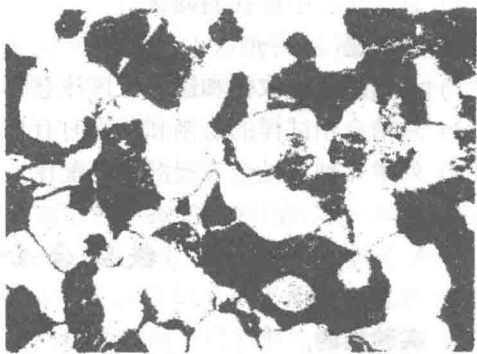


图 4-2 45 钢显微组织

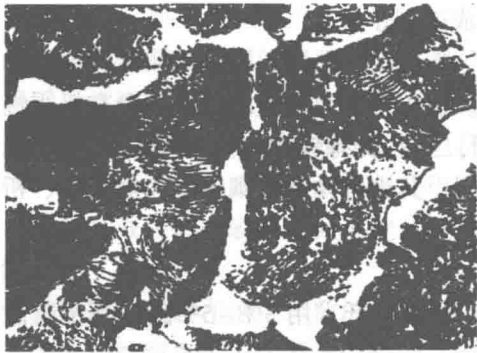


图 4-3 60 钢显微组织

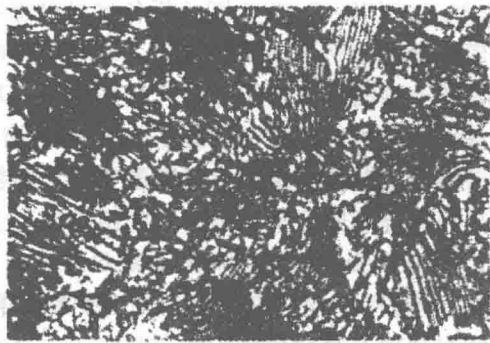


图 4-4 共析钢显微组织(中倍)



图 4-5 共析钢显微组织(高倍)

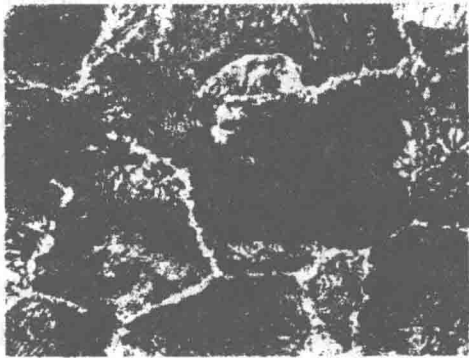


图 4-6 T12 钢显微组织

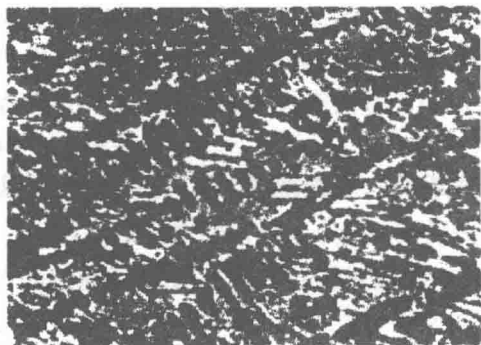


图 4-7 亚共晶白口铸铁显微组织



图 4-8 共晶白铸铁显微组织



图 4-9 过共晶白口铸铁显微组织

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。

### 三、实验内容

- (1) 实验前应复习讲课中有关内容并阅读实验指导书，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-Fe<sub>3</sub>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) 简述实验目的。
- (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 30~50mm 的圆内，并将组成物的名称用箭头标出。
- (3) 根据所观察的亚共析钢的显微组织近似确定其成分。

### 五、思考题

- (1) 碳钢的平衡组织和非平衡组织各有哪些？
- (2) CCT 图和 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图的应用各有什么限制条件？
- (3) 实际生产中 T12 钢在 900℃ 水淬、200℃ 回火是否符合要求？为什么？
- (4) 含碳量为 1.1% 的工具钢加热至 880℃ 淬火后发现硬度不足，脆性很大，试分析原因，并提出改进措施。