



机械基础实验教学系列教程

金属材料及热处理 实验教程

周小平 主 编

*Jinshu Cailiao
Ji Rechuli
Shiyan Jiaocheng*



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

机械基础实验教学系列教程

金属材料及热处理实验教程

主 编 周小平

副主编 陈 洪 胡心彬

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及热处理实验教程/周小平 主编
武汉:华中科技大学出版社,2005年12月
ISBN 7-5609-3537-0

I. 金…
II. ①周… ②陈… ③胡…
III. 金属材料-热处理-实验-高等学校-教材
IV. TG1

金属材料及热处理实验教程

周小平 主编

责任编辑:万亚军 陈培斌
责任校对:朱霞

封面设计:潘群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华大图文设计室
印刷:武汉首壹印刷厂

开本:787×1092 1/16

印张:10.25

字数:220 000

版次:2006年1月第1版

印次:2006年1月第1次印刷

定价:15.80元

ISBN 7-5609-3537-0/TG·70

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是根据材料成形及控制工程专业(本科)金属材料工程系列课程实验的教学要求编写的,内容包括金属学、金属材料及热处理、材料力学性能、金属断口分析、材料微观分析技术、无损检测等课程的常规实验。本书既介绍了实验的基本原理,又说明了实验的操作方法,可作为材料成形及控制工程专业金属材料工程系列课程实验教学的教材,也可供相关专业技术人员参考。

机械基础实验教学系列教程编委会

主 任:王 为 赵大兴

副主任:张业鹏 华中平 周小平

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

王劲青	尹 杰	付志泉	孙金凤
孙建明	宋小春	张友寿	陈水胜
陈 洪	陈惠敏	杨怀玉	苏学武
李 弈	李晓英	吴斌芳	胡心彬
海 燕	夏 露	黄 晋	游达章
魏 兵	魏春梅		

总 序

高等教育是以学生为本位,协调发展其知识、全面素质和专业技能的工厂,同时也是以人为最高价值坐标,培养和谐社会所需建设人才的熔炉。为贯彻落实国务院《2003—2007 年教育振兴行动计划》和教育部第二次普通高等学校本科教学工作会议精神,推动高等学校加强学生实践能力和创新能力的培养,加快实验教学改革和实验室建设,促进优质资源整合和共享,提升办学水平和教育质量,教育部和各省教育厅拟建设一批国家级及省级实验教学示范中心,湖北省机械基础实验教学示范中心是其中一个重要组成部分。

机械是传递能量流、物料流、信息流的实体。机械工程教育必须理论教学和实验教学齐头并进,才能促进学生从认知、兴趣、了解、熟悉,升华到创造性解决机械工程问题能力的梯级递进发展,才能促进学生对人与机器、人与自然、环境与社会和谐发展的认识理解。适当的实验教学与理论教学比例对实现机械工程学科高等教育目标十分重要。

建设机械基础实验教学示范中心以人本精神为主旨,用先进的工程教育理论作指导,遵循认知发展规律,在现代科学技术的引领下,使示范中心成为一个以创新能力为主线的大学生知识、素质、专业技能的孵化器,科研与教学结合的联轴器,师资水平提高的催化剂。

创新之根在于实践,工程实践是创新的基础,没有工程实践的能力就谈不上创新能力。本湖北省机械基础实验教学示范中心改革原有的实验教学内容,建立以创新设计为核心,以实践动手能力为基础的实验教学体系,减少了验证性实验,增加了设计性、创新性和综合性实验。

实验教材作为保证和提高实验教学质量的重要支柱和基础,作为体现实验教学内容知识载体,在当前实验教学示范中心建设中的作用是显而易见的。为配合机械基础实验教学示范中心的实验教学顺利完成任务,湖北工业大学组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师和实验人员,编写了这套机械基础实验系列教材。这套实验系列教材包含机械设计基础、机械创新设计、金属材料及热处理、数控技术、计算机辅助设计等内容。这套实验教学教材吸收了近几年机械基础教学改革的成果,以综合性、设计性、创新性实验为重点,全面介绍了机械基础应完成的实验内容,为各实验的完成及提高学生的创新设计能力提供了有力保障。

随着教育部《关于开展高等学校实验教学示范中心建设和评审工作的通知》(教高[2005]8 号)精神的实施,机械基础实验教学必将不断深入,这套实验教材将有一定的示范作用。

编委会

2005 年 10 月

前 言

实验和试验研究是工科大学生必备的知识能力,也是学习知识、掌握技能的重要环节。材料成形及控制工程专业要求培养的学生既有深厚的理论知识,又有多方面的动手试验研究能力,因而,实验教学越来越受到重视。传统的实验教学分别属于几门课程,不仅相互联系不够密切,而且有部分重复内容。为了使实验教学既与课程相联系,又有实验教学的独特性,同时满足开放实验室对实验教学的要求,我们编写了本书。

材料成形及控制工程专业主干课程包括金属材料工程和材料成形工艺两大部分,本书为金属材料工程系列课程实验教学而编写,包括金属学、金属材料及热处理、材料力学性能、金属断口分析、材料微观分析技术、无损检测等课程的常规实验。鉴于学科发展的需要,实验内容安排了尽可能全面的动手实验。

本书由周小平主编,参加编写的有周小平(第一章实验五~实验八,实验十八~实验二十二,第四章)、陈洪(第二章、第六章)、胡心彬(第一章实验一~实验四,第五章)、周细枝(第一章实验九、实验十,第三章)、胡春林(第一章实验十一~实验十七)。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2005年6月于湖北工业大学

目 录

第一章 金相组织分析实验	(1)
实验一 金相显微镜的使用和金相试样的制备	(1)
实验二 铁碳合金平衡组织观察	(7)
实验三 二元、三元合金的显微组织观察	(11)
实验四 碳钢的热处理组织观察	(16)
实验五 合金结构钢的组织观察	(20)
实验六 合金工具钢的组织观察	(22)
实验七 高速钢的组织观察	(24)
实验八 不锈钢的组织观察	(25)
实验九 塑性变形与再结晶后的晶粒度分析	(27)
实验十 奥氏体晶粒度的测定	(31)
实验十一 灰铸铁组织观察	(34)
实验十二 球墨铸铁组织观察	(38)
实验十三 可锻铸铁组织观察	(40)
实验十四 蠕墨铸铁组织观察	(43)
实验十五 铸造碳钢热处理前后组织观察	(46)
实验十六 铸造中低合金钢组织观察	(49)
实验十七 铸造不锈钢组织观察	(52)
实验十八 铸造铝合金的组织观察	(53)
实验十九 铸造铜合金的组织观察	(55)
实验二十 轴承合金的组织观察	(57)
实验二十一 硬质合金的组织观察	(59)
实验二十二 粉末高速钢的组织观察	(60)
第二章 金属热处理实验	(63)
实验二十三 钢的普通热处理	(63)
实验二十四 钢的淬透性	(69)
实验二十五 热处理综合实验	(71)
实验二十六 钢的化学热处理(渗碳、渗氮)	(72)
实验二十七 钢的渗碳层的测定	(76)
第三章 力学性能实验	(78)
实验二十八 布氏硬度实验	(78)
实验二十九 洛氏硬度实验	(81)

实验三十 维氏硬度、显微硬度实验.....	(83)
实验三十一 冲击试验	(87)
实验三十二 断裂实验	(89)
实验三十三 疲劳实验	(91)
实验三十四 磨损实验	(97)
第四章 宏观组织检验及断口分析实验.....	(100)
实验三十五 钢的酸蚀检验.....	(100)
实验三十六 印痕法检验.....	(105)
实验三十七 液体渗透着色法检验.....	(106)
实验三十八 断口分析样品采集.....	(108)
实验三十九 宏观断口分析.....	(113)
实验四十 显微断口分析.....	(117)
第五章 材料分析测试实验.....	(121)
实验四十一 X 射线衍射仪与物相定性分析.....	(121)
实验四十二 透射电子显微镜的构造、操作与观察	(123)
实验四十三 透射电子显微镜薄膜样品制备.....	(124)
实验四十四 扫描电子显微镜结构与断口形貌观察.....	(125)
实验四十五 电子探针构造及微区成分分析.....	(126)
第六章 无损检测实验.....	(127)
实验四十六 内部缺陷检测.....	(127)
实验四十七 表层缺陷检测.....	(136)
实验四十八 无损检测缺陷新技术.....	(143)
实验四十九 零件热处理质量及材料的无损检测.....	(146)
参考文献.....	(154)

第一章 金相组织分析实验

实验一 金相显微镜的使用和金相试样的制备

利用金相显微镜对金属材料进行显微组织观察是研究金属材料的重要方法。在工业生产和科学研究中,金相显微镜的应用很广,熟悉金相显微镜的结构和操作过程,并能用金相显微镜观察和分析金属材料是本课程的主要任务之一。用金相显微镜研究金属材料时必须制备出比较理想的金相试样,这样才能正确地观察并分析金属的组织。

一、实验目的

- (1) 了解金相试样的制备及腐蚀方法。
- (2) 熟悉如何具体分析试样的金相组织,抓住其组织特点,并正确记录金相组织。

二、实验原理

1. 金相显微镜的结构特点及操作规程

金相显微镜对物体细微组织的放大作用是通过物镜、目镜等一套光学系统完成的。由于观察对象是不透光的金属试样,所以要使用特殊的装置。这些装置分别称为光学系统、照明系统和机械系统,装在显微镜的各个部位;借助精密调节结构,正确调节各个镜头和试样的相对距离,就能获得清晰的、放大的虚像。另外,金相显微镜还有其他用途的附属装置。

下面对光学系统、照明系统和机械系统分别予以说明。

1) 光学系统

光学系统决定显微镜的放大能力(能够放大多少倍)和放大质量(物像的清晰程度),包括物镜、目镜和各种棱镜。

显微镜放大物像的作用如图 1-1 所示,图中 A 、 B 为试样上的两点, O_1 、 O_2 分别为物镜和目镜的中心点,把物体上 A 、 B 两点的位置调节到物镜的焦点之前一点,经过物镜的放大作用就能在目镜的焦点距离之内成实像 $A'B'$ 。这样再经目镜的放大作用,就成虚像 $A''B''$ 。由图可知,

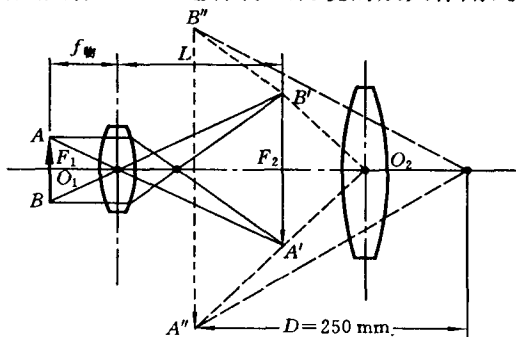


图 1-1 显微镜的放大原理

物镜的放大倍数为

$$M_{\text{物}} = \overline{A'B'} / \overline{AB} = \text{镜筒长度}(L) / \text{物镜焦距}(f_{\text{物}})$$

目镜的放大倍数为

$$M_{\text{目}} = \overline{A''B''} / \overline{A'B'} = \frac{250}{f_2}$$

$f_2 \approx \overline{O_2F_2}$, 相当于目镜的焦距, 而目镜到虚像间的距离近似地等于人眼的明视距离, 即 250 mm。物镜和目镜的放大倍数一般都刻在镜头上, 放大 10 倍的记为 10×, 放大 60 倍的记为 60×。由图可知

$$\text{显微镜的放大倍数} = \text{目镜放大倍数} \times \text{物镜放大倍数}$$

即

$$\overline{A''B''} / \overline{AB} = (\overline{A''B''} / \overline{A'B'}) \times (\overline{A'B'} / \overline{AB})$$

所以, 显微镜的放大倍数 M 等于目镜的放大倍数 $M_{\text{目}}$ 和物镜的放大倍数 $M_{\text{物}}$ 的乘积。

应该注意, 物镜能起分辨和放大物像的作用。也就是说, 物体上 A 、 B 两点距离很近时, 肉眼不能看出它们是两个点, 通过物镜, 则可以把物体上 A 、 B 两点放大而清晰分辨出两个点。目镜仅能放大由物镜所得到的物像而不能予以分辨, 即如果物镜不能把 A 、 B 两点分开而仅仅放大为一个较大的点, 则目镜就不可能分开这两点而只能再度放大。所以显微镜的显微作用是完全由物镜承担的, 物镜是显微镜的主要部分, 特别昂贵, 使用显微镜时应特别注意保护物镜。

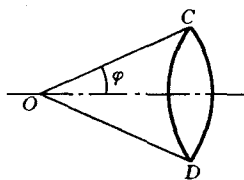
物镜对物体上相邻两点 A 、 B (其距离为 d) 的分辨能力称为物镜的分辨能力, d 愈小, 分辨能力愈大, 物镜的分辨能力与数字孔径 ($N \cdot A$) 成正比。普通物镜的数字孔径也刻在镜头上, 如“10×0.25”就表示放大倍数为 10, 数字孔径为 0.25。

根据光学知识可知

$$d = \frac{\lambda}{N \cdot A} \quad (1-1)$$

式中: λ 为观察时所用光的波长; $N \cdot A$ 为物镜的数字孔径。

数字孔径表示物镜结构的特点。如图 1-2 所示, O 为物镜的焦点 (进行显微观察时, 物体即放在这点前一点), CD 为物镜的直径, 则



$$N \cdot A = n \sin \varphi \quad (1-2)$$

式中: n 为物镜的折射率; φ 为物镜孔径角的一半。

已知焦距愈短, φ 愈大, 数字孔径也愈大。根据式 (1-1) 有, $N \cdot A$ 愈大, d 愈小, 分辨能力愈大。

图 1-2 数字孔径示意图

用普通显微镜观察试样时, 介质为空气, 其折射率约为 1, φ 角最大为 72° , 所以数字孔径最大为 $\sin 72^\circ = 0.95$ 。为了提高物镜的分辨能力, 可以使用一种特殊设计的高倍浸油物镜, 如以折射率较高的柏树油 ($n=1.51$) 为介质, 则其数字孔径 $N \cdot A$ 可达 $1.51 \times 0.95 = 1.43$ (注意: 浸油物镜的结构是特殊设计的, 对普通物镜来说, 不可以以油为介质, 以免损坏物镜)。

由式 (1-1) 还可知, 所用光的波长 λ 愈短, d 愈小, 物镜的分辨能力愈大, 而且波长较短的蓝光不刺激眼睛 (紫光波长虽然更短, 但太刺激眼睛), 所以在用显微镜观察时常常采用蓝光。

例如, 用前述的 10×0.25 物镜观察时, $d = 4\,500 \text{ \AA}^{①} / 0.25 = 18\,000 \text{ \AA} = 0.001\,8 \text{ mm}$ 。肉

① 这是蓝光的波长。

眼能观察的两点间最小距离约为0.3 mm;若要充分利用物镜,就必须把距离为0.001 8 mm的两点放大到0.3 mm,就是说要放大 $0.3/0.001\ 8=166$ 倍。这个物镜的放大倍数为10,所以选用15×和20×的目镜是适当的,是能够充分利用物镜的光学能力的。

一般说来,显微镜适当的放大倍数约为数字孔径 $N \cdot A$ 的500倍到1 000倍,选用目镜时要根据这个数字来选取。

过大的放大倍数只能扩大物像而不能更清晰地分辨物体上的细微组织,由此可见显微镜的最大有效倍数只能是

$$\frac{0.3}{0.000\ 4/1.43} = 1\ 100 \text{ (倍)}$$

显微镜成像的清晰度取决于物镜和目镜的质量。单透镜成像时,平行进入透镜的光线的边缘光线和中心光线所成的像不在一个平面上,因此,在一个平面上成的像会不很清晰,这就是所谓球面差。如果这束光是白光,则各色光造成的像不在一个平面上,因此,在一个平面上造成的像会成为一个光晕而不是两个点,这就是所谓色差。

一般物镜由一组透镜组成,这可以利用各个透镜的不同球面差的互相抵消作用消除一部分球面差。用缩小光圈的方法使边缘光线不参加成像,这也能减小球面差,但其结果会造成亮度不足,且使数字孔径减小,降低了分辨能力,因此不宜采用这个方法。

高质量的物镜是由不同材料做成的透镜组成的,以便消除色差。根据消除程度的不同,普通的称为消色差物镜,高级的称为复消色差物镜(这种物镜的价格昂贵,只用于高倍显微镜)。

目镜的结构比物镜的结构简单很多。目镜是配合物镜使用的。对普通消色差物镜而言,使用普通目镜即可;作高倍观察使用复消色差物镜时,要用一种特殊设计的补偿目镜;进行显微摄影时,则要用摄影式目镜。

2) 照明系统

照明系统包括光源、聚光镜和光阑等。

对生物显微镜而言,因为试样是透明的,一般都是光源的光线透过试样进入物镜,形成物像。但是在金相显微镜中,金属试样是不透明的,所以光线必须直接照射到试样的表面上,然后反射进入物镜形成物像。在金相显微镜中,最常用的照明法为直射照明法。图1-3所示是4×A型金相显微镜的光学系统图,由灯泡1发出一束光线,经过聚光透镜组(I)2的会聚及反光镜7的反射,将光线均匀地聚焦在视场光阑上,随后经过聚光透镜组(II)3将光线再度聚焦在物镜组6的后面,最后光线通过物镜而使物体表面得到照明,从物体反射回来的光线经物镜组6、辅助透镜(I)5与半反射镜4、辅助透镜(II)10以及棱镜(I)11和棱镜(II)12等一系列光学系统形成一个倒立的放大实像,但实像还必须经过目镜13再度放大,这样观察者才能从目镜视场中看到物体表面被放大的像。

在金相显微镜中,有时要利用斜照明进行特殊观察。例如,研究钢中的夹杂物时,就在物镜之外安装斜射照明器,此时物体上所反射的光绝大

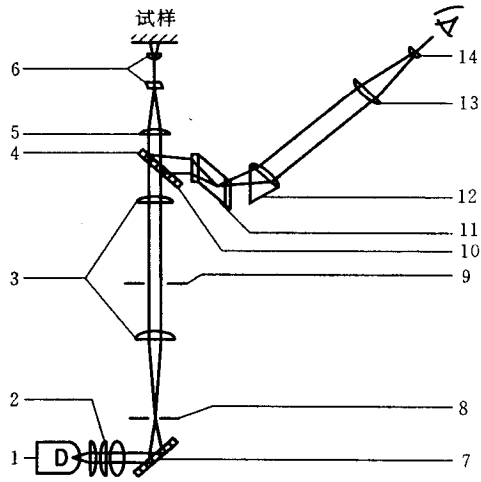


图1-3 4×A型金相显微镜光学系统示意图

- 1—灯泡;2—聚光透镜组(I);3—聚光透镜组(II);
- 4—半反射镜;5—辅助透镜(I);
- 6—物镜组;7—反光镜;8—孔径光阑;
- 9—视场光阑;10—辅助透镜(II);11—棱镜(I);
- 12—棱镜(II);13—场镜;14—接目镜

部分不入物镜,故物镜基本是暗色的,所以又称为暗视场。

3) 机械系统

机械系统包括支架、载物台、升降机构、移动机构、测量装置等。

虽然显微镜的机械结构是多种多样的,但都是根据同样的光学原理制造的。总的说来,一般有一个镜架,在镜架上装上镜筒(装置物镜与目镜用的)、载物台(安放试样用的)、照明系统以及调节系统。

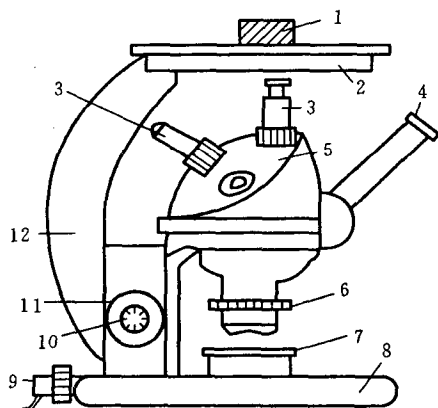


图 1-4 4×A 型金相显微镜外形图

1—试样;2—载物台;3—物镜;4—目镜;
5—物镜转换盘;6—视场光阑旋钮;
7—孔径光阑;8—底座;9—光源;
10—微调手轮;11—粗调手轮;12—镜架

图 1-4 所示是 4×A 型金属显微镜的外形图,现将其主要构件分述如下。

(1) 照明系统。

底座内装有一低压灯泡(常用 6 V、15 W)作为光源,灯前另有聚光镜、孔径光阑及反光镜等装置,这组装置仅是照明系统的一部分,其余尚有聚光镜、视场光阑及另一聚光镜,它们安装在支架上,通过以上一系列透镜作用,可使试样表面获得充分照明。

(2) 粗调手轮。

粗调手轮 11 被安装在镜架的两侧,通过内部的齿轮传动,手轮的转动可使支承载物台的弯臂作上下有限的升降。微调手轮 10 与粗调手轮处在同一部位。当微调手轮转动内部另一组齿轮后,可使支架沿着滑轨缓慢移动。微调手轮有一极限位置,当旋到此极限位置时,就被自动限制住,不能再继续旋转,否则将会损坏显微镜。

(3) 载物台。

该载物台采用黏性油膜与托盘连接,通过载物台与托盘之间的四方导架来引导载物台在一定的范围内作十字定向移动。

(4) 孔径光阑。

孔径光阑相当于照相机上的光圈,位置靠近光源,通过连续调节孔径光阑可以控制入射光束的粗细。当孔径光阑缩小时,进入物镜的光束变细,光线不通过物镜的边缘,成像清晰,可见孔径光阑对成像质量影响很大;使用时应作适当的调节,不能调节过大(或过小),以所观察到的物像最清晰时为宜。

(5) 视场光阑。

视场光阑的主要作用是减少镜筒内部的反射与炫光。调节视场光阑能改变观察视场的大小。缩小视场光阑,观察到的视场也随之缩小,镜筒内的反射和炫光显著减弱,从而增加成像的衬度。

(6) 物镜转换盘。

物镜转换盘 5 的三个螺孔可以安装三个不同倍数的物镜,因此只需将转换盘转动,即可获得所需的倍数。这种显微镜的物镜有 8×0.25、45×0.63、100×1.32(浸油)三种,目镜有 5×、10×、16×等三种,可以相互搭配使用,从而获得各种放大倍数。

2. 金相试样的制备过程及腐蚀方法

用显微镜研究金属及合金的显微组织时,都是通过观察试样进行的,试样可能是从冶金厂的产品“钢材”上取下来的,可能是从机械厂的“金属制品”或“金属元件”上取下来的,也可能是从研究室的“金属试验品”上取下来的。所以对金相试样说来,首先要求试样的组织对其来源具

有代表性(取样是否恰当),其次试样组织本身要有正确性(磨制和腐蚀是否恰当,有没有造成假象),下面分别予以说明。

(1) 试样的选取(取样)和截割方法。

考虑到试样对原件应该具有代表性,所以取样时应考虑在原件的什么部位截取,应考虑所取试样以哪个表面为磨制的表面(原件因加工过程的关系,有可能在各个方向具有不同的组织。例如:研究钢棒和钢丝的组织时,应于两端取样;研究金属制品的疵病或损坏处时,除应在疵病或损坏处取样外,还应于完善处再取一个试样以资比较;研究钢棒上截取的试样时,还应该在纵向上和横向上做两个磨面)。

通常以手锯或机床(锯床、车床、铣床)等截割试样。如果材料过硬,就要用薄片金刚石砂轮切割;如果原件过大,则可用火焰烧割。无论用哪个方法取样,均应该注意不要使试样升温过高,以致组织有所改变,不能代表原件。特别是用火焰烧割时,要使烧割口与所选磨面保持一定距离;机械切割时,可以用水冷切割的方法。

所取试样的大小应便于手持磨制,一般试样高度为10~15 mm,截面直径为12 mm。如果受原件的尺寸限制(例如原件是薄片、细丝等),只能取得细小试样时,则需将试样镶嵌起来;如果是片状的试样,可以用夹具夹住;如果是外形不规则的试样,可以用塑料或用低熔点合金镶嵌。

(2) 试样的整平、磨平和抛光。

试样磨制得不好,可能会在磨面上造成假象,使我们看不到真实的组织,因而不可能得出正确的结论。磨制试样需要一定技巧。获得这种技巧,需要长期的训练。磨制工作包括整平、磨光和抛光等三个过程。

在试样上选定磨面后,首先要把这个表面用锉刀锉平或者在砂轮上整平。在砂轮上整平时,应选择较细的砂轮,免得磨痕太深,以后不易除去,还应注意以下几点。① 磨制时用力不宜过重,时间不宜过长,否则磨面温度升高,可能使表面组织有改变(特别当试样是淬火组织时),必要时应随时用冷水冷却试样。② 用力过重还可能造成较深的磨痕和表面的金属层变形,此项缺陷可能增加以后磨平及抛光时的困难。③ 用力必须均匀,以免磨面不平。④ 试样棱边可以在砂轮上磨圆,以免在磨光及抛光时撕裂砂布、砂纸或伤及手指(如果需要保持棱边以供观察时,则应把试样镶嵌起来磨抛)。⑤ 试样整平后,应将试样及手用水冲洗干净,以防止将粗粒砂子带到细砂纸上,造成严重划痕。

试样整平工作完成后的工序为磨光,磨光操作如下。① 先在铁砂布上磨光,然后依次在1号→0号→01号→02号→03号→04号等砂纸上磨光,不得颠倒上述顺序。② 手握试样务求平稳,施力均匀,压力不宜过重,以免产生较深磨痕以及磨面上金属层的变形,无法显出真实组织。③ 每换一号砂纸,应将试样和手用水冲洗干净,以防止将粗粒砂子带到细砂纸上,造成粗的磨痕。④ 每换一号砂纸,应将试样研磨方向旋转90°,磨到上一工序磨痕全部消失为止。

试样磨光后,进行最后的工作——粗抛光和细抛光。粗抛光时,用帆布蒙在抛光盘上作抛光布,以金刚砂粉为抛光粉,电动机转速可以较快;细抛光时,用绒布或丝绢作抛光布,以极细的氧化铝粉、氧化镁粉或氧化铁粉(俗称红粉)为抛光粉,转速应较慢。

抛光时应注意下列各点。① 应先把抛光粉放在水中做成混悬液,然后将混悬液均匀洒在抛光布上,抛光时抛光布应保持一定的湿度,过湿时会减低抛光作用,过干时易污染磨面,影响判断结果。② 抛光时压力不宜过重,时间不宜过长(一般为1~5 min),以免造成磨面上金属层变形;粗抛光时压力过重,还可能在磨面上造成麻点。③ 抛光时,应将试样沿抛光盘半径向外

移动,使各部分抛光一致,并避免造成彗星状痕迹,抛光布受损也可以比较均匀。④ 抛光非金属夹杂物及石墨试样时,要用丝绢作为抛光布。抛光布不宜过湿,在这种情况下可以用手抛光,就是把丝绢蒙在平玻璃上,手持试样,单向抛光。

(3) 试样磨面的腐蚀。

试样抛光后,表面光亮如镜面,在显微镜下观察时只能看到一个个光亮的圆圈,这是因为组成金属合金的各种组成体具有相同的反射性能。所以在用显微镜观察前必须经过腐蚀,使金属合金中的各个部分受到不同程度的腐蚀,使之具有不同的反射能力以便观察。如果各个组成体在腐蚀前已具有不同的反射性能(例如非金属夹杂物和石墨与金属基体的反射能力有较大的不同),那么,不经腐蚀也能看清楚。

在腐蚀之前,应先将试样磨面用酒精洗净(或者用棉布蘸酒精擦拭干净)吹干,然后把磨面放在浸蚀剂中浸几秒钟,取出后立刻先用水再用酒精洗净并吹干。如果腐蚀深度不够,应补行腐蚀;如果第一次腐蚀太深,则只能重新抛光后,重新腐蚀。

浸蚀剂对试样有如下几种作用。① 浸蚀剂对不同种类的组成体或不同方位的晶粒会起不同速度的溶解作用。例如,在纯金属多晶体中,晶粒和晶粒间界的结构不同,它们在浸蚀剂中溶解的程度也不同,射在磨面的光线经反射后,晶界呈现为黑色的线条,如图1-5所示。此外,晶粒与晶粒之间由于晶粒位向不同,受蚀不同,腐蚀后在显微镜下各个晶粒的颜色也不同。在多相合金中,由于各相的电位不同,在浸蚀剂中还可能产生微电池作用,使其阳极溶解得快些,因此,颜色的深浅不同。② 浸蚀剂对不同组成体起不同的着色作用。例如,在钢中,以碱性苦味酸钠溶液作为浸蚀剂能把 Fe_3C 相染成黑色,而对纯铁无作用。③ 浸蚀剂对不同组成体起不同的

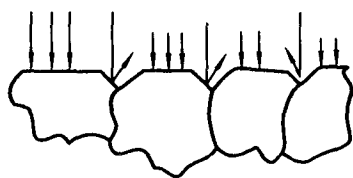


图1-5 晶界成像示意图

沉积作用。例如,在钢中,以含 Cu^+ 离子的溶液作为浸蚀剂时,在含磷较高的部位铜离子不易沉积,但在含磷较低的地方铜离子较易沉积。

对于不同合金,要用不同的浸蚀剂和不同的腐蚀方法,这种资料可以从许多手册上查到。

(4) 金相试样的观察与记录。

在本次实验中,我们只观察纯金属的显微组织。试样经腐蚀后,在显微镜下观察时,首先看到试样上的黑色网纹(见图1-5)。这些网纹就是晶粒间界,网纹包围起来的区域称为一个晶粒。所谓纯金属的显微组织,就是指晶粒的形状、大小和分布。晶粒的形状,可以是等轴的(即各向尺寸大致相等,接近于圆形),可以是柱状或杆状的(即有一个方向的尺寸特别大)。晶粒的大小,指在一定的放大倍数下晶粒的尺寸(做金相观察时必须注意放大倍数,如果没有记录下放大倍数,记录下来的晶粒大小就没有意义)。晶粒的分布,可以是任意分布的(即大小相近,没有一定的分布规律);可以是晶粒大小相差悬殊,无一定分布规律的;可以是等轴晶粒集中在某一部位,柱状晶粒集中在另一部位而按一定规律排列起来。

要记录金相显微组织,就是抓住这种组织特征(晶粒的形状、大小、分布),把它描绘下来。研究金相组织就是研究其组织特征,所以在描绘组织时,不是按物像一笔一笔地照相描绘,而是抓住特征示意描绘(当然,如果有何特殊发现,是要照着描绘的)。这种组织特征是金属加工过程所决定的,它对金属的性能起着决定性的作用。

描绘金相组织以后,必须在组织下面详细说明:① 试样的名称;② 试样的化学成分;③ 试样所代表原件的加工过程;④ 所用浸蚀剂;⑤ 放大倍数;⑥ 组织特征的文字描述。对所描绘的组织,应该加以说明。例如对金属试样的组织,应用箭头指向黑色线条,注明是“晶界”。

三、实验设备和材料

- (1) 金相显微镜、抛光机。
- (2) 铁砂布, 1 号、0 号、01 号、02 号、03 号砂纸。
- (3) 氧化铬混悬液。
- (4) 浸蚀剂(根据实验指导老师的要求选取合适的浸蚀剂和腐蚀时间)。
- (5) 试样。

四、实验步骤

- (1) 在实验前, 必须仔细预习实验指导书, 并做好准备。
- (2) 实验开始前, 注意了解本实验所用显微镜的结构、使用方法及操作规程。
- (3) 实验分为两组: 一组领取试样, 按指导书磨制、腐蚀试样并由指导教师检查磨制质量; 另一组进入显微镜室, 仔细观察显微镜的结构并按照操作规程学习操作, 然后两组交换工作。
- (4) 轮流观察实验室准备好的试样, 观察每一试样, 写好组织特征的文字说明, 描绘这一试样的金相显微组织, 经指导教师审核同意后, 并在图下注明试样的各项要素: ① 名称; ② 化学成分; ③ 加工过程; ④ 浸蚀剂; ⑤ 放大倍数。

五、实验报告

- (1) 在实验时描绘的显微组织及其说明(这个图应该在实验时描绘下来, 既要描得干净, 又要能表示出组织特征。如果在实验时能够干净、整齐地做好各项说明, 最好交原件; 如果原件不够整齐, 应该整理好)。
- (2) 制备金相样品的要领。
- (3) 对本实验的体会和意见。

实验二 铁碳合金平衡组织观察

一、实验目的

- (1) 观察和分析铁碳合金的平衡组织。
- (2) 分析铁碳合金显微组织的形成过程。
- (3) 分析碳钢、白口铸铁的组织与含碳量之间的关系, 从而掌握铁碳合金成分、组织和性能间的关系。

二、实验原理

Fe-Fe₃C 平衡相图是铁基二元相图中最重要的相图。根据相图, 可以分析铁碳合金的平衡组织及其特点。所谓平衡组织, 是指符合平衡相图的组织, 即在一定温度、一定成分和一定压力下合金处于最稳定状态的组织。要获得这样的组织, 必须使合金发生的相变在非常缓慢的条件下进行。通常将缓冷(退火)后的铁碳合金组织看做平衡组织。铁碳合金是目前应用最广泛的工程材料。铁碳合金的平衡组织是研究铁碳合金的性能及相变机理的基础, 因此认识和分析铁碳合金的平衡组织有十分重要的意义。此外, 观察和分析铁碳合金的平衡组织有助于理解

Fe-Fe₃C平衡相图的建立和进一步借助相图来分析问题。

1. 铁碳合金的分类

铁碳合金可分为碳钢和白口铸铁两大类,表1-1列出了铁碳合金的分类和组织情况。

表1-1 铁碳合金的分类和组织

	分 类	含碳量/(%)	平衡显微组织
碳钢	亚共析钢	0.02~0.77	铁素体+珠光体
	共析钢	0.77	珠光体
	过共析钢	0.77~2.11	珠光体+二次渗碳体
白口铸铁	亚共晶白口铸铁	2.11~4.30	珠光体+莱氏体+二次渗碳体
	共晶白口铸铁	4.30	莱氏体
	过共晶白口铸铁	4.30~6.69	莱氏体+一次渗碳体

从表1-1中可以看出,铁碳合金是以其含碳量来分类的,其中含碳量小于2.11%的称为碳钢,大于2.11%的称为白口铸铁。由于含碳量的不同,它们的平衡组织也有很大的不同。

2. 铁碳合金的平衡组织

表1-1中已经列出,铁碳合金的平衡组织共有四种:铁素体(α 相),渗碳体(Fe₃C),珠光体(P)和莱氏体(L_d)。但是从Fe-Fe₃C相图上可以看出,铁碳合金在常温下只有两相,即铁素体和渗碳体。由于含碳量的不同,这两个基本相的相对量、形状和分布情况有很大的不同,因此呈现各种不同的组织形态。下面介绍一下各种显微组织的基本特征。

(1) 铁素体:碳在 α -Fe中的固溶体,碳的溶解度(质量分数)是可变的,在727℃时达到最大溶解度,为0.0218%,在常温下为0.008%左右。铁素体的硬度很低,塑性好,经4%硝酸酒精腐蚀后呈白亮色(参见本实验附录一中图1-6)。含碳量较低时,铁素体呈块状分布,随含碳量增加,铁素体量减少,在接近共析成分时,铁素体呈网状分布在珠光体周围。

(2) 渗碳体:碳与铁的一种金属化合物,化学式为Fe₃C,碳的质量分数很高,可达6.69%,坚硬而脆,耐蚀能力很强,经4%硝酸酒精腐蚀后呈白亮色。在过共晶白口铸铁中的一次渗碳体是从液态中直接结晶成的,故呈条状分布,如图1-14所示。在过共析钢和亚共晶白口铸铁中的二次渗碳体(参见本实验附录一中图1-11和图1-12)是从奥氏体中沿晶界析出的,所以呈网状分布在珠光体的周围。由于渗碳体硬度很高,所以在磨面上是突起的。

铁素体和渗碳体经4%硝酸酒精腐蚀后都呈白亮色,为了加以区别,可改用苦味酸钠溶液腐蚀(苛性钠25g,苦味酸2g,加水100ml,在100℃煮沸5~10min)。这时渗碳体被染成暗褐色(接近黑色),铁素体仍呈白亮色。

(3) 珠光体:铁素体和渗碳体的两相混合物,有片状珠光体和球状珠光体两类。

片状珠光体是经一般退火后得到的铁素体和渗碳体的片层交叠组织。经4%硝酸酒精浸蚀后,这种组织在显微镜下由于放大倍数不同而有不同的特征:在600倍以上观察时,可见珠光体中平行相间的宽条铁素体和细条渗碳体都呈白亮色,而边界呈黑色;在400倍左右观察时,由于显微镜分辨能力降低,白亮的细条渗碳体被黑色的边界所“吞没”而呈黑色,这时看到的珠光体是宽条白亮色铁素体和细条渗碳体相间;在200倍以下观察时,宽条白亮色的铁素体难以区分,这时的珠光体特征是暗黑色。低碳钢中的珠光体量很少,片间距细小,即使在较高倍观察时也是暗黑色的。