

上海市本科教育高地建设项目

和

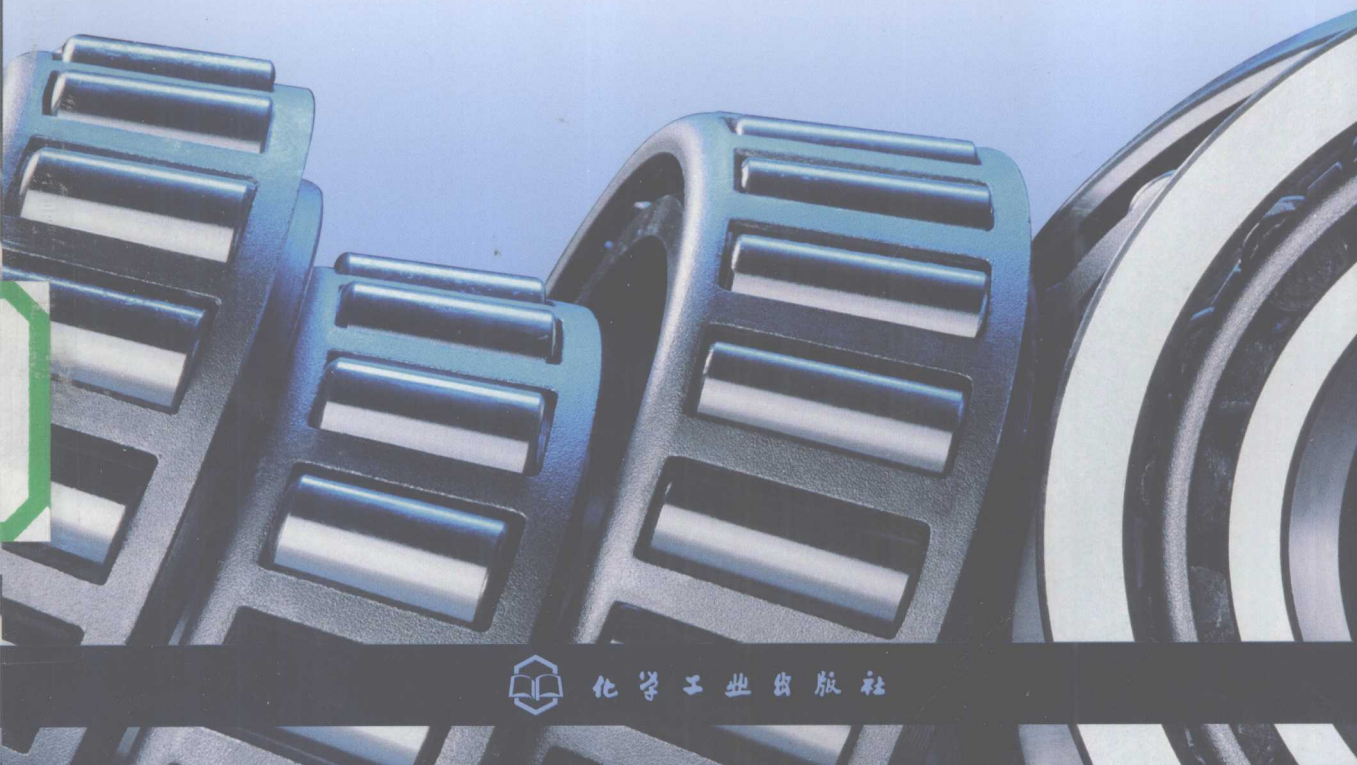
国家教育部财政部第一类特色专业建设项目

资助

金属材料工程

实验教程

施雯 戚飞鹏 杨弋涛 等编



化学工业出版社

上海市本科教育高地建设项目
和
国家教育部财政部第一类特色专业建设项目
资助

金属材料工程

实验教程

施雯 / 戚飞鹏 杨弋涛 等编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

金属材料工程实验教程/施雯等编. —北京: 化学工业出版社, 2009.5

ISBN 978-7-122-04973-5

I. 金… II. 施… III. 金属材料-实验-教材 IV. TG14-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 027958 号

责任编辑: 刘丽宏

责任校对: 陈 静

文字编辑: 余纪军

装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 217 千字 2009 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

前言

材料工业已成为人类社会进步的物质基础与先导,人类历史的演变与材料科学和工程技术密切相关,材料的每一次创新都标志着人类进步的新阶段和新发展。当今世界科学技术突飞猛进,在世界范围内 21 世纪的高科技包括信息、生命科学、新能源与再生能源、新材料、空间和海洋,这些高新技术除了新材料科学技术本身,其他也都和新材料科学技术息息相关。

金属材料工程专业实验是随学科的变化和课程体系的改革而设置的系统实验。传统的实验教学分别属于原金属材料与热处理专业、铸造专业、金属压力加工专业的十几门实验课程,不仅实验内容有些重复,而且互相之间缺少联系,绝大部分实验为验证性的内容。2007 年,按照国家教育部关于本科教学质量工程 1 号和 2 号文件精神,在上海市教委“金属材料工程教育高地建设”、国家教育部财政部“金属材料工程第一类特色专业建设”、211 重点学科建设、上海市特色学科建设等专项经费的有力资助下,加强教学的实践环节,深化实践教学建设。为此本教材的编写是以“理论教学,实践教学,科学研究”三位一体为建设目标,学科交叉与综合背景下的宽口径专业教育,使学生成为具有创新意识的高质量人才,为高层次的后续学习和终身学习奠定基础。

本书内容包括 9 章:金相实验技术,铁碳合金及其有色合金的熔制,铸造成型,塑性成型与焊接成型,金属热处理,金属材料物理性能与力学性能,近代测试分析技术,计算机模拟实验及综合设计性实验。实验安排为:合金熔制→合金铸造→综合塑性成型→合金热处理→合金性能测试→合金组织现代测试→计算机在金属材料工程试验应用。为了加强学生对合金基本理论知识的掌握,培养他们动手创造的能力,书中安排了综合设计性实验,以进一步加深他们对合金材料成分、组织结构和性能之间关系的认识。

按章节顺序参加编写的有陈洁(第 1 章 1.1~1.3 节)、史文(第 1 章 1.4 节,第 6 章 6.4 节)、戚飞鹏(第 2 章 2.1、2.3 节)、汪宏斌(第 2 章 2.2 节、第 6 章 6.7 节)、侯旭(第 3 章)、施雯(第 4 章 4.1~4.3 节)、张恒华(第 4 章 4.4 节、第 6 章 6.1~6.3 节)、韦习成(第 4 章 4.5 节)、何燕霖(第 5 章 5.1~5.4 节)、符仁钰(第

5章5.5~5.7节)、闵永安(第6章6.5节)、金曼(第6章6.6节、第9章9.6、9.7节)、朱丽慧(第7章)、邵光杰(第8章)、杨弋涛(第9章9.1~9.5节)。

在本书的编著过程中得到了上海高等学校本科教育高地建设项目(金属材料工程)、国家教育部财政部第一类特色专业建设项目(金属材料工程)的大力支持,谨在本书出版之际,致以深深的谢意。

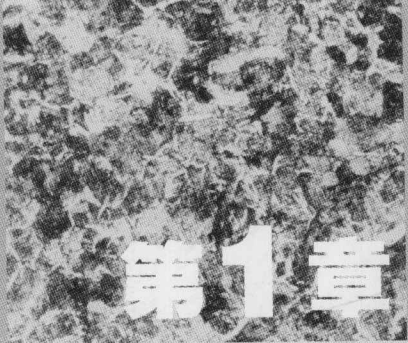
由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 金相实验技术	1
1.1 金相显微镜原理与使用方法	1
1.2 金相样品制备	7
1.3 金相显微摄影技术	11
1.4 显微组织观察	16
第 2 章 铁碳合金及其有色合金的熔制	25
2.1 中频感应电炉熔制 (铸铁)	25
2.2 合金钢的真空电弧炉熔炼	29
2.3 电阻炉合金熔制 (有色金属)	33
第 3 章 铸造成型	37
3.1 合金材料流动性的测试	37
3.2 铸铁的热分析	39
3.3 合金材料线收缩的测试	42
3.4 合金材料的铸造应力测试	45
3.5 造型材料性能的测定	48
3.6 黏土型砂的常温性能测定	52
3.7 金属在浇注系统中流动的水力模拟试验	54
第 4 章 塑性成型与焊接成型	60
4.1 最大咬入角与摩擦系数的测定	60
4.2 宽展及其影响因素	63
4.3 前滑及其影响因素	68
4.4 金属室温压缩实验	70
4.5 钢板电弧焊焊接实验及焊接接头组织观察	72

第5章 热处理	77
5.1 钢中常见几种马氏体与贝氏体组织形态的金相观察	77
5.2 金属的塑性变形和再结晶	80
5.3 奥氏体晶粒度大小的测定	84
5.4 钢的临界点测定	87
5.5 钢的淬透性的测定	90
5.6 碳钢热处理及热处理炉炉温校验	93
5.7 钢的渗碳与渗碳层的测定	97
第6章 金属材料物理与力学性能	101
6.1 拉伸实验	101
6.2 冲击实验	103
6.3 硬度测试	106
6.4 差热分析	111
6.5 热膨胀法测定钢铁材料的相变温度	113
6.6 用电阻法研究合金的相变过程	116
6.7 马氏体相变内耗峰的测量	120
第7章 近代测试分析技术	125
7.1 X射线衍射仪及物相定性分析	125
7.2 透射电子显微镜样品的制备及观察	128
7.3 扫描电镜的结构、工作原理及观察	131
第8章 金属材料学工程综合设计性实验	136
8.1 制定高碳钢的正常淬火热处理工艺	136
8.2 制定铝合金的固溶和时效热处理工艺	137
8.3 制定低碳钢的双相热处理工艺	138
第9章 计算机模拟实验	139
9.1 充型与凝固过程	139
9.2 旋转浇注过程	144
9.3 压室充填	146
9.4 热应力	148
9.5 金属型模具温度场的演变	151
9.6 锻造变形	153
9.7 薄板成形	158
本章参考文献	163



第1章

金相实验技术

1.1 金相显微镜原理与使用方法

1.1.1 实验目的

- ① 了解金相显微镜的基本原理和构造。
- ② 初步掌握金相显微镜的使用方法。

1.1.2 实验原理

研究金相组织的光学显微镜称为金相显微镜,利用金相显微镜对金属材料进行显微组织观察,是研究金属的重要方法。而普通光学显微镜,由于方便操作,观察视场较大,价格相对低廉,迄今为止仍然是常规检验和研究工作中最常用、最重要的工具之一。

目前,除光学显微镜外,电子显微镜、场致离子显微镜、X射线显微镜、电子显微镜等许多新型显微镜,已获得广泛的应用。即使在光学显微镜方面,偏振光、相衬、高低温度等特殊显微镜,也已在金相研究上获得应用。但是普通光学显微镜仍是金相研究中最主要、最基本的工具。

1.1.2.1 金相显微镜的成像原理

金相显微镜基本放大原理如图 1-1 所示。其放大作用主要由焦距较短的物镜和焦距较长的目镜来完成的。为了便于说明,图中物镜和目镜都简化为单透镜。

金相显微镜是依靠光学系统实现放大作用的。光学系统主要包括物镜、目镜及一些辅助光学元件。对着被观察物体 AB 的一组透镜是物镜 (O_1);对着眼睛的一组透镜称为目镜 (O_2)。现代显微镜的物镜和目镜都是由复杂的透镜系统所组成,借助于物镜和目镜的两次放大作用,可将被观察物体放大至 1600~2000 倍。

当被观察物体 AB 置于物镜前焦点略远处时,物体的反射光线穿过物镜经折射

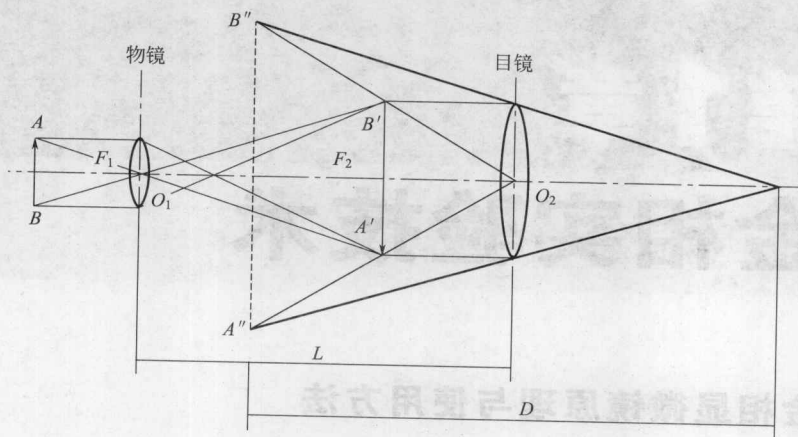


图 1-1 金相显微镜的光学放大原理

后, 得到一个放大的倒立实像 $A'B'$ (称为中间像)。若 $A'B'$ 处于目镜焦距之内, 则通过目镜观察到的物像是经目镜再次放大的虚像 $A''B''$ 。由于正常人眼观察物体时最适宜的距离是 250mm (称为明视距离), 因此在显微镜设计时, 应让虚像 $A''B''$ 正好落在距人眼 250mm 处, 以使观察到的物体影像最为清晰。

1.1.2.2 金相显微镜的构造

以上海某厂生产的 4XA 金相显微镜为例。该显微镜的实物照片和光学原理分别如图 1-2 和图 1-3 所示。

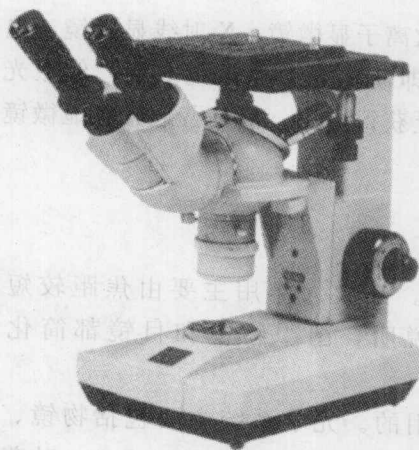


图 1-2 显微镜的构造

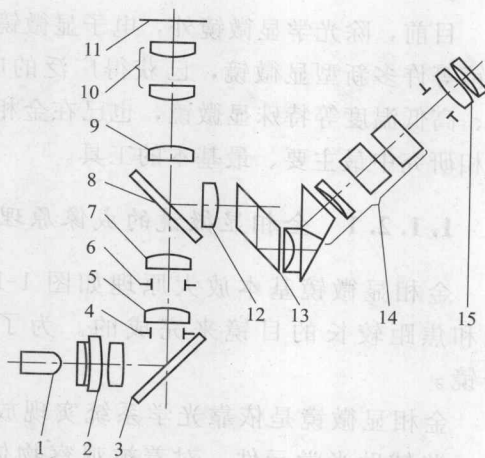


图 1-3 显微镜光学原理图

- 1—灯源; 2—集光镜; 3—反光镜; 4—孔径光栅;
5, 7—照明辅助透镜; 6—视场光栅; 8—半透反
光镜; 9, 12—辅助透镜; 10—物镜; 11—试样;
13—棱镜; 14—双筒棱镜组; 15—目镜

由于被观察对象为不透光的金属试样,故必须使用特殊的照明装置,涉及光学系统、照明系统和机械系统。这三个系统分别装在显微镜结构的各个部位,正确调节机构中镜头和试样的相对距离以获得清晰的放大图像。现分述如下。

(1) 光学系统 光学系统的主要构件是物镜和目镜,其任务是完成金相组织的放大,并获得清晰的图像。它决定显微镜的放大能力和放大质量。显微镜的放大倍数为物镜放大倍数 $M_{\text{物}}$ 和目镜放大倍数 $M_{\text{目}}$ 的乘积,如式(1-1)所示。

$$M = M_{\text{物}} \times M_{\text{目}} = \frac{L}{f_{\text{物}}} \times \frac{D}{f_{\text{目}}} \quad (1-1)$$

式中 $f_{\text{物}}$ ——物镜的焦距;

$f_{\text{目}}$ ——目镜的焦距;

L ——显微镜的光学镜筒长度;

D ——明视距离。

$f_{\text{物}}$, $f_{\text{目}}$ 越短或 L 越长,则显微镜的放大倍数越高,有的小型显微镜的放大倍数需再乘一个镜筒系数,因为它的镜筒长度比一般显微镜短些。显微镜的主要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。在物镜和目镜的镜筒上,均标注有放大倍数。放大倍数常用符号“ $\times$ ”表示,例如物镜的放大倍数为 $20\times$,目镜的放大倍数为 $10\times$,则显微镜的放大倍数为 $20\times 10=200\times$,即 200 倍。

① 物镜 物镜质量的好坏直接影响到显微镜的映像质量。通常从以下几个方面来全面评价物镜的内在性能。

a. 放大倍数。物镜的放大倍数是光学镜筒长度和物镜焦距的比值。

b. 数值孔径。数值孔径表征物镜的聚光能力,物镜对试样上各点的反射光收集得越多,成像质量就越好。以 NA 表示。数值孔径与物镜的孔径角及物镜和试样间的充填介质折射率 η 的关系为 $NA = \eta \sin \phi$,孔径角 ϕ 越大, NA 值就大,光通量也越大。理论上孔径角可达到 90° ,但实际仅为 78° 。

c. 鉴别率。金相显微镜的鉴别率是指它能清晰地分辨试样上两点间最小距离 d 的能力。 d 值越小,鉴别率越高。根据光学衍射原理,试样上的某一点通过物镜成像后,我们看到的并不是一个真正的点像,而是白色的圆斑,四周围绕着许多衍射环。当试样上两个相邻点的距离极近时,成像后由于部分重叠而不能分清为两个点。只有当试样上两点距离达到某一 d 值时,才能分辨清楚。显微镜的分辨率取决于使用光线的波长 (λ) 和数值孔径 (NA),而与目镜无关, d 值可根据公式 $d = \lambda / 2NA$ 计算,在一般显微镜中,光源的波长可通过加滤色片来改变。在显微镜中确保物镜的鉴别能力得以充分利用时所对应的放大倍数称为显微镜的有效放大倍数,通常以 $M_{\text{有效}}$ 表示,如式(1-2)所示。

$$M_{\text{有效}} = 0.3 \sim 0.6 \sim \frac{NA}{\lambda} \quad (1-2)$$

式中, NA 和 λ 分别表示数值孔径和光线波长。由此可见, 显微镜的有效放大倍数取决于物镜的数值孔径和入射光波长。

d. 景深。景深是表示物镜对高低不平物体的分辨能力。由于试样浸蚀后凹凸不平, 物镜必须有一定的景深, 物镜的景深与数值孔径成反比。在物镜的数值孔径特别大的情况下, 显微镜可以有好的分辨率, 但景深很小。所以要根据需要选择合适数值孔径的物镜。

e. 透镜成像的质量。单片透镜在成像过程中, 由于几何条件的限制及其他因素的影响, 常使影像变得模糊不清或发生变形现象, 这种缺陷称为像差。由于物镜起主要放大作用, 显微镜成像的质量主要取决于物镜, 故遇成像质量问题时应首先对物镜像差进行校正。透镜的像差主要包括以下几种类型。

球面像差: 指透镜的中间部分和边缘部分所折射的光线不能汇聚于一点, 透镜中心部分聚焦较远, 而边缘部分聚焦较近, 使影像模糊不清。缩小孔径光阑可改善球面像差, 但鉴别率降低, 较好的方法是用几个透镜或用曲率半径较小的透镜来减小球面像差。

色像差: 照明用的白色光包括许多不同波长的单色光。由于透镜对不同波长的光线有不同的折射率, 因此不同波长的光通过后不能聚焦于一点, 而产生色像差, 使得影像模糊不清。校正的办法是用不同折射率的玻璃消色差透镜, 或复消色差透镜, 使各色光聚焦于一点, 并用滤色片滤去不能聚焦于一点的其他色光。

像散: 是由侧面光线造成的图像竖线清晰横线模糊, 或竖线模糊横线清晰。

f. 物镜的分类。根据物镜对像差的纠正情况, 可分为消色差物镜、复消色差物镜、半复消色差物镜和消像散物镜。

g. 物镜性能主要标记

40/0.65——表示物镜 40 倍、数值孔径为 0.65。

160/0——表示金相用的物镜机械筒长是 160mm。“0”表示盖波片的厚度=0(即没有盖波片)。

② 目镜 目镜是用来观察由物镜成像的放大镜。其作用是使显微观察时, 于明视距离外形成一个清晰放大的虚像, 而在显微摄影时, 通过摄影目镜使在成像屏上得到一个放大的实像。

目镜的构造较为简单, 由数量不多的透镜组成, 孔径角很小, 鉴别率也很低, 按使用用途, 可分为负型目镜、正型目镜、补偿目镜、放大型目镜和测微目镜。

(2) 照明系统 该系统的主要部件是光源与垂直照明器。

① 光源 照明系统的光源有钨丝灯泡、碳弧灯、钨弧灯及锆弧灯和特殊光源四种。近来, 又发展了氙灯照明代替碳弧灯用于摄影照明, 其优点是色温和光源稳定, 无闪烁现象。

② 垂直照明器 金相显微镜的光源一般位于镜体的侧面, 与主光轴成正交。因此, 需要一个“垂直照明器”起光路垂直换向作用。垂直照明器的种类有片面玻璃、

4 金属材料工程实验教程

全反射棱镜和暗场用反射镜。由于观察目的不同,金相显微镜对试样的采光方式要求亦不相同。据此,可分明视场照明和暗视场照明。

③ 孔径光栏 孔径光栏安装在聚光镜的后面,调节孔径光栏的大小,可以调节入射光线的粗细。孔径光栏张得太大,会使镜筒内的反射与内炫增强,给试样的影像加上一层白光,降低了影像的衬度,使组织模糊不清;孔径光栏张得太小,会使物镜的鉴别能力降低,不易辨别细微的组织。最适合的大小是使光线刚好充满物镜的后透镜,实际操作方法是取下目镜,调节孔径光栏,从目镜镜筒中看到孔径光栏成像直径达到物镜孔径的 $1/2 \sim 3/4$ 为最佳。

④ 视场光栏 视场光栏安装在孔径光栏的后面,作用是调节视场的大小,减少镜筒内的反射和内炫,提高映像的衬度。视场光栏的调节和物镜鉴别率无关,因此总是将视场光栏缩小到目镜能观察到的视域为止。

⑤ 滤色片 合理选择滤色片可以提高成像质量,主要目的增加映像衬度,校正残余像差,提高物镜的鉴别率。

(3) 机械系统 显微镜的机械系统主要由底座、载物台、镜筒、调节螺丝及照相部件等部分组成。

① 底座 起支撑整个镜体的作用。

② 载物台 用于放置金相样品。一般备有在水平面内能作前后左右移动的螺丝及刻度,以改变观察部位,有的载物台可在 360° 度水平范围内旋转。

③ 镜筒 为物镜、垂直照明器、目镜及光路系统其他元件的连接筒。

④ 调节螺丝 供调节镜筒升降之用。有粗调螺丝,微调螺丝,以完成显微映像的聚焦调节。

1.1.2.3 显微镜的使用方法及注意事项

金相显微镜属贵重的精密仪器,应当极其细心谨慎地使用,严格遵守以下操作规程。

① 初次使用金相显微镜或使用新型号的显微镜时,要熟悉显微镜的结构和操作方法后方可动手操作。

② 操作时双手及试样要干燥、清洁,决不允许把浸蚀未干的试样放在显微镜上观察,以免腐蚀损坏物镜。

③ 操作时应精力集中,接电源时要检查是否已通过变压器,防止烧坏;装卸或调换镜头要放稳后才能松开手。

④ 调焦距时,应先转动粗调螺丝,使物镜尽量接近试样,然后再通过目镜边观察,边调节粗调螺丝使载物台逐渐远离物镜,直至看到组织,最后调节微调螺丝直至组织清晰为止。

⑤ 要保证显微镜光学部件的清洁,当光学部件上有灰尘、污垢、油脂时,严禁用手或手帕去擦,也不能吹气,只能用专用的软毛刷或镜头纸轻轻擦拭。严重的可用

镜头纸蘸二甲苯擦拭,切不可用酒精或乙醚等溶剂接触镜头。

1.1.2.4 测微目镜的校正

在进行脱碳层深度检验、晶粒度评级及夹杂物定量分析等工作时,需要用测微目镜对组成物的尺寸进行测量。测微目镜是在普通目镜光栏上装一个按 0.1mm 分度的玻璃片。使用前,应用如图 1-4 所示的物镜测微尺对其进行校正。

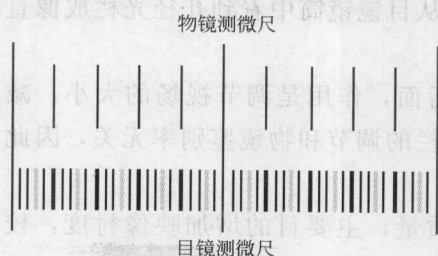


图 1-4 测微目镜

物镜测微尺上刻有按 0.1mm 分度的玻璃尺,刻度全长为 1mm,在校正时,将物镜测微尺作为被观察物体置于样品台上,刻度面朝物镜。用测微目镜观察,并调节其旋钮,使物镜测微尺的刻度 n 与测微目镜上若干刻度 m 对齐,如图 1-4 所示,由于已知物镜测微尺每小格为 0.01mm,所以测微目镜中每小格所量度的实际长度为: $a = (n/m) \times 0.01$ 。

在图 1-4 中,物镜测微尺上的 10 格(相当于 $0.01 \times 10 = 0.1\text{mm}$)与测微目镜的 50 格对齐,所以测微目镜内每小格所量度的实际长度为: $a = (10/50) \times 0.01 = 0.002\text{ (mm)}$ 。若用测微目镜测量的组织组成物长度为 N 格,则它的实际长度为 $N \times a\text{ (mm)}$ 。应注意,校正后进行实际测量时,必需仍用校正时的物镜,若改用别的物镜,还需重新校正。

1.1.3 实验设备与材料

① 4XA 型台式金相显微镜、测微目镜、物镜测微尺。

② 金相试样。

1.1.4 实验内容与步骤

① 结合实物,由教师介绍金相显微镜构造、使用和维护等基本知识。

② 每人领取一块试样,在显微镜下观察组织,学会焦距的调节,确定放大倍数和载物台的移动。

③ 选用不同的物镜,调节孔径光栏和视场光栏的张开程度,对试样的同一部位进行观察,从而分析分辨率的影响因素。

④ 用物镜测微尺标定测微目镜的刻度,用测微目镜测量晶粒尺寸。

1.1.5 思考讨论题

① 显微镜是如何成像的?试从成像原理来分析调节的操作。

② 孔径光栏和视场光栏各有什么作用?如何选择它们的大小?

③ 什么叫物镜的鉴别率?其决定因素是什么?如何提高鉴别率?

④ 物镜质量好坏由哪几个指标来说明?

1.1.6 实验报告要求

① 实验目的、实验原理及所用实验设备。

② 实验步骤、测微标尺的标定、测出石墨球的直径或晶粒大小。

1.1.7 参考文献

[1] 姚鸿年. 金相研究方法. 北京: 中国工业出版社, 1963.

[2] 沈桂琴. 光学金相技术. 北京: 国防工业出版社, 1983.

[3] 任怀亮. 金相实验技术. 北京: 冶金工业出版社, 1986.

1.2 金相样品制备

1.2.1 实验目的

① 学习和了解金相试样的制备过程。

② 掌握金相试样制备各步骤的基本方法。

③ 进一步熟悉金相显微镜的构造及使用方法。

1.2.2 实验原理

为了在光学显微镜下分析研究金属材料的显微组织, 必须将金属材料制成一定形状和尺寸的试样。通常总是把金属(原材料、成品或零件)所需要分析的部位切取下来, 制成金相试样。金相试样的制备一般分为取样、镶嵌、磨光、抛光和浸蚀五个步骤, 下面按照样品的制备过程逐一进行介绍说明。

1.2.2.1 取样

金相试样往往只是整个金属材料的一小部分, 在取样时要注意制样的方便性和代表性这两个问题。所以通常把试样加工成直径为 16~25mm、高 12~20mm 的圆柱体或边长 16~25mm、高 12~20mm 的立方体。代表性就是要注意化学成分和加工处理状态的均匀性。对铸锭和铸件, 应考虑冷凝过程中不可避免的偏析现象; 对表面化学热处理后的金属材料, 则必须取从表面到心部组织发生变化的部位; 对有缺陷的金属材料, 则应抓住有缺陷的关键部位取样。

取样截取方法视材料的性质不同而异, 但均应保证不使被观察面的组织发生变化。

对软金属, 可用手锯或锯床切割; 如果材料

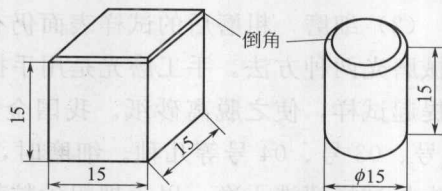


图 1-5 金相试样的尺寸规范

过硬就要用薄片金刚砂轮片切割；如果材料硬而脆可用锤击方式；对极硬的材料，则可采用电火花线切割法；在大工件上取样，可用氧气切割。金相试样适宜的尺寸如图1-5所示。

1.2.2.2 镶嵌

如果试样大小合适，便于用手握持磨制，则无须镶嵌。对于尺寸过于细小的金属丝、片、管和不规则形状物，以及有特殊要求的试样，必须先将其镶嵌起来再磨制。镶嵌的方法很多，如低熔点合金镶嵌，电木粉或塑料镶嵌和机械夹持等，目前多用电木粉镶嵌。使用该方法时，应注意镶嵌机的温度和压力对组织的影响。金相试样镶嵌方法如图1-6所示。

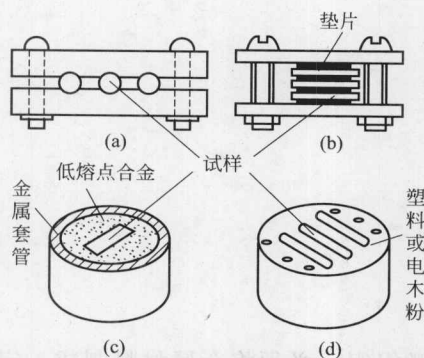


图1-6 金相试样的镶嵌方法

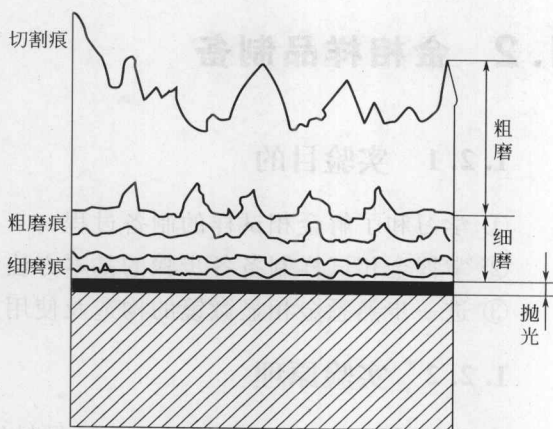


图1-7 试样表面磨痕变化示意图

1.2.2.3 镶嵌磨制

磨制是为了得到平整的磨面，为抛光作准备。一般磨制过程分粗磨和细磨。

(1) 粗磨 一般在砂轮机上进行。对很软的材料，可用锉刀锉平。砂轮粗磨应利用砂轮的侧面，并使试样沿砂轮径向作往复缓慢移动，施加压力要适度、均匀。在磨制过程中要不断用水冷却试样，以防止由于温度升高造成试样内部组织变化。最后，将试样倒角，以免细磨及抛光时划破砂纸或抛光布。但对需要观察表层组织的试样，不能倒角。经过粗磨后，试样表面虽然看上去较平整，但仍还存在较深的磨痕见图1-7。

(2) 细磨 粗磨后的试样表面仍有较深的磨痕，需进行细磨。细磨有手工磨光和机械磨光两种方法。手工磨光是用手握持试样，在金相砂纸上单方向推移磨制，拉回时提起试样，使之脱离砂纸。我国金相砂纸按粗细分为粗砂纸、1号、0号、01号、02号、03号、04号等几种。细磨时，依次从01号磨至04号；每换细一级砂纸时，应先将试样清洗干净，以免把粗砂粒带到下一级砂纸上去，再将试样的磨制方向调转90°，即磨制方向与上一道磨痕方向垂直，以便观察上一道磨痕是否全部消除。手工

磨光要注意以下几点。

① 右手压住试样时用力要轻,试样各个部分受力要均匀,保证磨面各点都磨到。同时,要沿一个方向磨,不要往返磨。

② 砂纸要逐级更换,不要跳级。更换砂纸时要用水把试样和手冲洗干净,防止把粗磨粒带到细砂纸上去。

③ 更换砂纸后,试样应转动 90° 后再磨,保证新磨痕和旧磨痕垂直,以便观察旧磨痕的消失情况。

④ 在砂纸上未磨好时,不要急于进行抛光。在较细的砂纸上磨时发现较深的磨痕难以去除时,要退回去重磨。

⑤ 粒度不同的砂纸应分开保管。砂纸用旧后,磨粒钝化,应及时更换。磨过硬质材料的砂纸不能再磨软质材料。

1.2.2.4 抛光

抛光的目的一是去除细磨后留下的细微磨痕,二是为消除磨面上的变形层,使磨面呈光亮镜面。抛光是金相试样制备过程的最后一道操作,抛光质量的好坏与磨光是密切相关的,抛光前,应仔细检查磨面的磨光质量。抛光常用的方法有机械抛光、电解抛光和化学抛光等。

(1) 机械抛光 其原理是利用磨面和抛光微粉(磨料)之间相对机械作用而使磨面成为光滑平整的镜面的过程。机械抛光在抛光机上进行,常用抛光机转速为 1400r/min ,抛光时将抛光布覆盖在可旋转的圆盘上。

抛光操作的关键是力求得到最大的抛光速率,以便尽快去除磨光时产生的损伤层。同时要使抛光产生的变形层,不会影响最后观察的组织,也就是说不会产生假像。要同时满足这两个要求是矛盾的。前者要求使用较粗的磨料,使有较大的抛光速率来去除磨光的损伤层。后者要求使用最细的磨料,但抛光速率就降低了。要解决这对矛盾的最好方法,就把抛光这个步骤分为两个阶段来完成。首先采用粗抛,这一阶段应具有最大的速率,目的是去除磨光变形层。其次采用精抛,使抛光损伤减到最小,目的是去除粗抛产生的变形层。

抛光的磨料以往常用的有氧化铝、氧化镁、氧化铬等,现在使用比较普遍的是金刚石研磨膏。粗抛时一般用粒度为 $3.5\mu\text{m}$ 磨料。细抛时,可用粒度为 $1\mu\text{m}$ 的磨料。此外还有金刚石喷雾抛光剂,虽然价格比较高,但抛光速率大,切削能力保持时间长,消耗量少,效率高,可快速完成抛光操作步骤。

抛光用的织物,应根据织物的性能及被抛光试样的特点灵活应用。钢铁试样常用的抛光布为全毛麦尔登呢,精抛可选用丝绒等织物。在抛光时要注意以下几点。

① 抛光布使用前先用水湿润,使用后再用水冲洗干净,晾干。

② 抛光时试样应轻放在抛光布上,不能用力压以防试样飞出或产生新的磨痕。试样应不断从圆盘心部向边缘移动,避免抛光布局部磨损。

③ 抛光时应不断注入抛光微粉的悬浊液，一方面是填充磨料，另一方面是冷却试样，试样温度应控制在一定范围内，以试样离开抛光盘后，磨面上的水膜在1~5min内蒸发完毕为宜。

④ 在抛光的最后阶段及精抛光时，应不断旋转试样，防止夹杂物和较硬的组织粒子在磨面上形成彗星形的“尾巴”。

⑤ 抛光结束后用水冲洗试样，并在磨面上滴酒精，用棉花擦拭后用热风把试样吹干。试样磨面不能用手摸，避免弄脏或损伤。

⑥ 抛光后的试样应立即浸蚀和观察。如不能立即进行，应马上密封在干燥器内。

(2) 电解抛光 它可避免机械抛光使表层金属产生的变形或流动，从而能真实地显示金相组织。该方法尤其适用于有色金属及其他硬度低、塑性大的金属，但不适于偏析严重的金属、铸件及作夹杂物检验的金相试样。电解抛光时，把磨光的试样浸入电解液中，接通试样（阳极）与阴极之间的电源。当电流密度足够大时，试样磨面即产生选择性溶解，最后形成平整光滑的试样表面。

(3) 化学抛光 它是靠化学溶剂对不均匀表面产生选择性溶解来获得光亮的抛光面。该法不需要专用抛光设备，操作简便，缺点是夹杂物易被蚀掉，且抛光面平整度较差，只能用于低倍常规检验。抛光时将试样浸在抛光液中，或用棉花沾取抛光液，来回擦洗试样磨面。由于化学抛光兼有化学浸蚀的作用，能显示金相组织，所以抛光后可直接在显微镜下观察。

1.2.2.5 浸蚀

抛光后的试样在显微镜下只能观察到光亮的磨面及夹杂物，必须经过适当的浸蚀后才能把组织显示出来。不同金属材料可采用不同的化学浸蚀剂，但其原理都是一样的，就是利用磨面上不同区域在化学浸蚀剂内的腐蚀速度不同，使抛光后光滑平整的试样表面因各个部分性质不同而腐蚀成凹凸不平的表面，在显微镜下显示出不同的形象。

常用的浸蚀方法有化学浸蚀法和电解浸蚀法。化学浸蚀法是把抛光好的试样磨面在化学腐蚀剂中腐蚀一定时间从而显示出试样的组织。其操作方法：将抛光好的试样冲洗干净后，将试样磨面浸入到腐蚀剂中或用滴管把腐蚀剂滴在试样表面，试样抛光面稍发暗时，即可马上用水冲洗干净，滴无水乙醇，用电风吹干。如果浸蚀过度，应重新抛光，重复上述步骤。试样浸蚀深浅，可根据试样材料，组织特点，放大倍数等来确定。电解浸蚀是将抛光试样浸入合适的化学试剂的溶液中，通以较小的直流电进行浸蚀。后者与电解抛光的原理相同，主要用于化学稳定性较高的合金，例如镍基合金、不锈钢等。

1.2.3 实验设备与材料

① 金相砂纸、抛光机。