

86
TG1-33
1
2
1

高等院校试用教材

金属学及热处理实验

林昭淑 主编

rx6-1/6

湖南大学出版社

D

313282

内 容 简 介

本书分两部分：第一部分编入金属学及热处理课程的十六个实验，每个实验分别叙述了实验目的、实验原理、实验方法（包括实验内容、方案、步骤、设备和材料等）、实验报告要求（包括讨论和思考题）；第二部分附录，即有关实验的理论或方法（设备）等参考部分。全书以金相显微分析方法为主，突出金属或合金各种典型组织的金相特征（光学金相及电子金相）、形成原因、与金属或合金性能的关系。本书是高等院校机械类热加工专业的一本实验课教材，也可供有关科技人员参考。

金 属 学 及 热 处 理 实 验

林 昭 淑 主 编



湖南大学出版社出版

湖南大学印刷厂印刷 湖南省新华书店发行



787×1092毫米 16开	12.2 印张 281 千字
1986年2月第1版	1986年2月第1次印刷
统一书号：15412·4	定 价 2.08元

前 言

本书初稿是根据机械工业部高等院校《金属学及热处理》课程协作组第一次会议的决定,为提高教学质量,加强实验课教学环节而组织编写的。适用对象:铸、锻、焊等热加工专业学生。

初稿经1981年9月第二次会议讨论,编者根据与会代表的意见作了修改和补充,于1982年9月由湖南大学印行;三年来,已有近40所院校选用,各校经过试用,在肯定该书的基础上,热情地提出了改进意见,并要求正式出版以满足教学的需要。

修订稿版根据1984年4月机械工业部教材编审委员会通过的《金属学及热处理》(热加工用)教学大纲的要求,进一步作了必要的编排,修改和补充。

全书共编入十六个实验,其中既有充分数量的基本实验供选用,以适应不同的教学要求,也有一定数量要求较高的和综合性的实验。使用时可根据专业要求和设备情况选开8—10个实验。为提高学生分析问题和解决问题能力,编者在原书的基础上增加了断口分析,焊缝组织分析等内容;为配合当前《金属学及热处理》课程的改革,加强学生实验能力的培养,本书以金相显微分析方法为主要内容,突出了各种典型组织的金相特征(光学金相和电子金相)、形成原因以及与金属或合金性能的关系,使各个实验既是独立单元又互相联系。

本书由湖南大学林昭淑主编,清华大学安志义副教授主审。

实验三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十三、十四、十六、附录二三、五、六、七、九、十系湖南大学林昭淑编写,实验一、二系清华大学安志义编写;附录一第一、二节、附录四系清华大学朱张校编写,实验十五、附录一第四、五节系清华大学王彩芬编写;附录一第三节系北京工业大学于淑茝编写;附录八系湖南大学邹新运编写,全书修订工作由林昭淑同志担任。

全书金相图片部分由湖南大学金属学实验室、清华大学金属学实验室提供,其余由作者提供。

在编写过程中曾得到北京钢铁学院、北京航空学院、北京工业学院、西安交通大学、中南工业大学、长沙国防科技大学等兄弟院校的大力支持和协助,在此谨致衷心感谢。

由于编者水平有限,本书可能存在不少缺点;希望使用和参考本书的同志提出宝贵意见。

一九八五年九月

目 录

实 验

一、金相显微镜的构造及使用	(1)
二、金相显微试样的制备	(10)
三、凝固条件对铸锭组织的影响	(16)
四、铁碳合金平衡组织观察	(19)
五、金属的塑性变形与再结晶	(24)
六、碳钢的热处理操作、组织观察及硬度测定	(28)
七、合金钢组织及钢在热加工后显微缺陷观察	(36)
八、二元、三元合金组织观察	(44)
九、C曲线的建立	(48)
十、粗视分析	(54)
十一、铸铁与有色金属显微组织观察	(61)
十二、焊缝组织分析	(66)
十三、钢的淬透性测定	(68)
十四、显微摄影	(74)
十五、电子显微分析	(78)
十六、综合性实验	(90)
附录一、其他显微分析方法简介	(91)
一、偏振光在金相研究中的应用	(91)
二、定量金相	(92)
三、高温金相	(96)
四、扫描电子显微分析	(100)
五、电子探针	(106)
附录二、断口分析	(108)
附录三、焊接金相	(117)
附录四、钢的晶粒度测定	(123)
附录五、化学热处理渗层深度的测定	(126)
附录六、硬度计的使用	(128)
附录七、实验室用加热炉和仪表	(135)
附录八、摄影基本原理	(140)
附录九、几种表格	(157)

表 1、常用金相浸蚀剂.....	(157)
表 2、压痕直径与布氏硬度对照表.....	(158)
表 3、压痕对角线与维氏硬度对照表.....	(160)
表 4、各种硬度及强度换算表.....	(162)
(一) 洛氏硬度 HRC 与其他硬度及强度换算表.....	(162)
(二) 洛氏硬度 HRB 与其他硬度及强度换算表.....	(164)
表 5、钢的热处理工艺的代号与技术条件的表示方法(GC423—62).....	(166)
附录十、金相图谱.....	(167)
主要参考资料.....	(190)

实验一 金相显微镜的构造及使用

一、实验目的

1. 了解金相显微镜的光学原理和构造；
2. 初步掌握金相显微镜的使用方法并利用显微镜进行显微组织分析。

二、概述

利用金相显微镜来观察金属及合金的内部组织与缺陷是金属材料研究中最基本的一种实验技术。将专门制备的金属及合金试样在金相显微镜下放大 100—1500 倍来观察、研究其组织与缺陷的方法称为金属的显微分析方法。显微分析可以研究金属与合金组织及其化学成份的关系；确定各类金属经不同的加工与热处理后的显微组织；鉴别金属材料质量的优劣，如各种非金属夹杂物——氧化物，硫化物等，在组织中的数量及分布情况，以及金属晶粒度大小等。

金相显微镜是利用光线的反射将不透明物体（金属、岩石，塑料等）放大后进行观察的。在介绍金相显微镜的构造和应用之前，应了解有关理论的基本知识。

三、金相显微镜的原理及使用

（一）显微镜的基本原理

放大镜是最简单的一种光学仪器，它实际上就是一块集合透镜（凸透镜），利用它可以将物体放大，其成像光学原理，如图 1—1 所示。

当物体 AB 放在透镜与其焦点 F 之间时，则经透镜的光线就分散开来，从放大镜后面观察，可以看到一个放大的正虚象 $A'B'$ ，此象的长度与物体长度比值（即 $A'B'/AB$ ）就是放大镜的放大率（放大倍数）。由于放大镜到物体之间的距离 a 近似地等于透镜的焦距 f ($a \approx f$)，而放大镜到象间的距离 b 近似地等于人眼的明视距离（约 250mm），故放大镜的放大倍数为：

$$N = \frac{b}{a} = \frac{250}{f} \quad (1)$$

由式（1）可知，透镜的焦距 f 越短，则放大镜的放大倍数越大。一般采用的放大镜其焦距在 10—100mm 范围内，放大

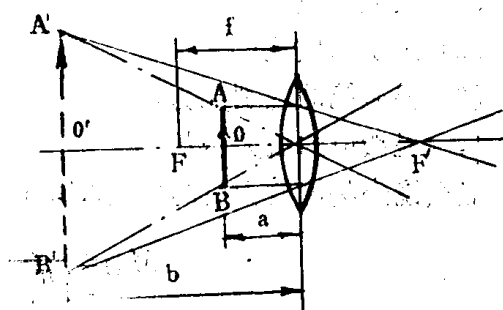


图1—1 放大镜的光学原理图
AB—物体，A'B'—物象，f—焦距

倍数则可在 2.5—25 倍之间。若进一步提高放大倍数，将会由于透镜焦距缩短使其表面曲率过份增大，而使形成的影象变得模糊不清。所以为了得到高倍放大而又清晰的影象，就得采用由多个透镜组成的显微镜。

最简单的显微镜由两个透镜所组成。对着所观察物体的透镜叫做物镜(或接物镜)，对着眼睛的透镜叫做目镜(或接目镜)。借助于物镜与目镜的两次放大，就能使物体放大到很高的倍数。

图 1—2 为显微镜放大作用的光学原理图。

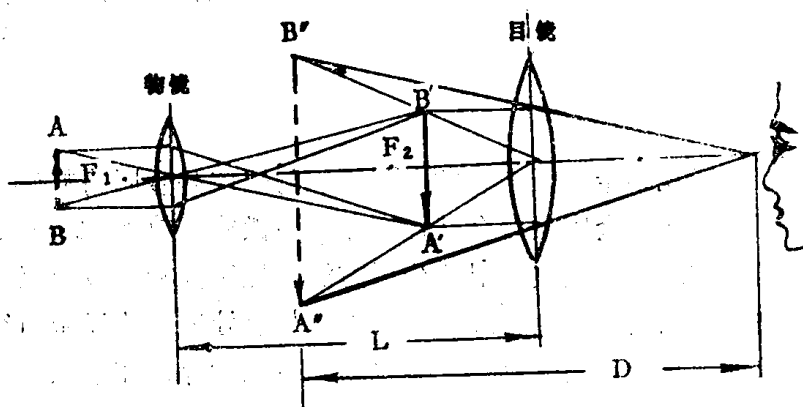


图1—2 显微镜光学原理图

当所观察的物体A B置于物镜前离其焦点略远处时，物体的反射光线穿过物镜经折射后，就得到一个放大的倒立实象A'B'，若A'B'处于目镜焦距之内，则通过目镜观察到的象是目镜放大的A''B''之虚象。这就是我们在显微镜下研究实物所观察到的物象。

我们知道，正常人眼观察物体时最适宜的距离是明视距离，因此在观察时必须调整目镜以满足不同观察者眼睛的明视距离，使观察到的物体的影象最为清晰。

由图1—2可以看出，物镜对物体起放大作用，而目镜则是放大由物镜所得到的物象。

显微镜质量的优劣，主要取决于以下几点：

- (1) 放大倍数；
- (2) 透镜的质量；
- (3) 显微镜的鉴别能力。

1. 显微镜的放大倍数

显微镜经物镜放大后的象(A'B')之放大倍数为

$$M_{\text{物}} = \frac{L}{F_1} \quad (2)$$

式中：L——显微镜的镜筒长度（即物镜与目镜间的距离）； F_1 ——物镜焦距。

目镜放大倍数为

$$M_{\text{目}} = \frac{D}{F_2} \quad (3)$$

式中：D——明视距离；

F_2 ——目镜焦距

很显然，显微镜的总放大倍数应为二者放大倍数的乘积，即：

$$M_{\text{总}} = M_{\text{物}} \times M_{\text{目}} = \frac{250 \cdot L}{F_1 \cdot F_2} \quad (4)$$

显微镜中的主要放大倍数一般是通过物镜来保证，物镜的最高放大倍数可达100倍，目镜的放大倍数可达25倍。

放大倍数的符号用“ $\times$ ”表示，例如物镜的放大倍数为 $25\times$ ，目镜的放大倍数为 $10\times$ ，则显微镜的放大倍数为 $25\times 10=250\times$ 。放大倍数均分别标注在物镜与目镜的镜筒上。

2. 透镜成象的质量

单片透镜在成象过程中，由于几何光学条件的限制，以及其它因素的影响，常使映象变得模糊不清或发生变形现象，这种缺陷称为象差。象差的产生降低了光学仪器的精确性，形成象差的主要原因是由于透镜本身存在有球面象差和色象差等缺陷。

如图1—3(a)所示球面象差的产生是因为透镜的表面呈球曲形，当通过透镜中心及边缘的光线折射以后不能交于一点，而分成几个交点前后分布；来自透镜边缘的光线在透镜附近交集，而靠近中心的光线则交集在较远的位置，这样在透镜主轴上形成的映象显然不清晰，球面象差的程度与光通过透镜的面积有关，若放大光圈，则球面象差越严重，反之，缩小光圈限制边缘光线射入，使通过透镜的光线只有中心的一部分则可消除球面象差。但是光圈太小，也会影响象的清晰度。

现代显微镜中，校正透镜球面差的方法是采用多片透镜组成透镜组，即将凸透镜和凹透镜组合在一起（称为复合透镜），由于这两种透镜有着性质相反的球面差，因此可以相互抵消。

如图1—3(b)所示，色差的产生是由于组成白光的各种不同波长的光线在穿过透镜时其折射率不同。若用白色光照明时，其中紫色光线的波长最短，其折射率最大，在离透镜最近处成象；红色光线的波长最长，其折射率最小，在离透镜最远处成象。其余

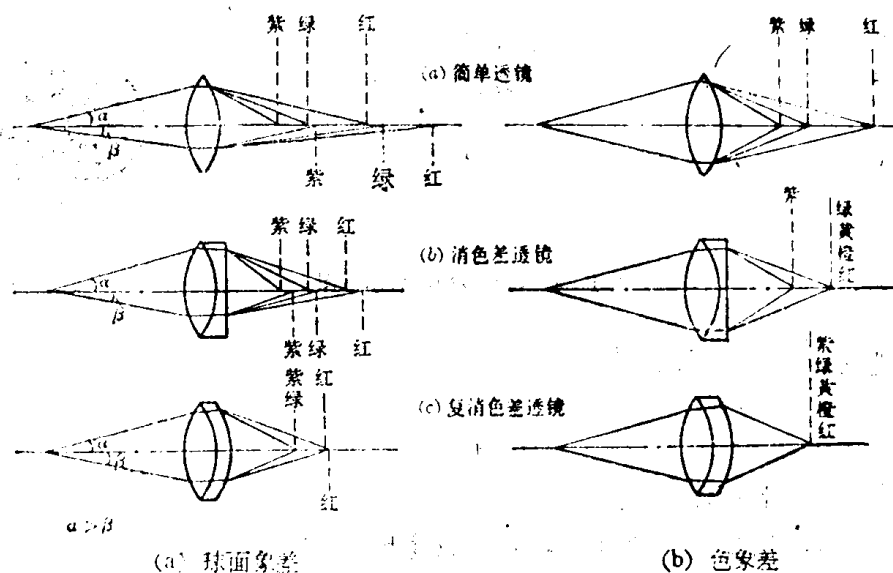


图1—3 透镜产生象差的示意图

的有色光线（如：黄、绿、兰色）的成象，则在它们之间。因此这些光在平面上的成象就不能集中在一点，而呈现出带有彩色边缘的光环。色象差的存在也会降低透镜成象的清晰度，也应予以校正，通常采用单色光源（或加滤光片），也可使用复合透镜。

显微镜的放大作用主要在于物镜，物镜的好坏直接影响显微镜放大后映象的质量，所以对物镜的校正是很重要的。物镜的类型，根据对透镜球面象差和色象差的校正程度不同而分为消色差物镜，复消色差物镜和半复消色差物镜等。

目镜也是显微镜中的主要组成部分，是第二个透镜组。它的主要作用是将由物镜放大所得的实象再度放大，因此它的质量将最后影响到物象的质量。按照目镜的构造型式一般可分为普通目镜，补偿目镜，以及测物目镜等。普通目镜其映象未经校正，应与消色差物镜配合使用。补偿目镜须与复消色差物镜或半复消色差物镜配合使用，可以抵消这些物镜的残余色象差。

3. 显微镜的鉴别能力（鉴别率）

显微镜的鉴别能力就是物镜的鉴别能力。它是指物镜对于试样上最微细部分所能获得清晰映象的能力，通常用可辨别的物体上两点间的最小距离 d 来表示。若被分辨的距离越短，则表示显微镜的鉴别能力越高。根据光学衍射原理，试样上的某一点，通过物镜成象之后，我们看到的并非是一个真正的点象，而是具有一定尺寸的白色圆斑，并在四周围绕着许多衍射环，如图 1—4(a) 所示。当试样上两个相邻的点距离极近时，经成象后由于部分重叠不能分清为两个点，好象一个大圆点，如图 1—4(b) 所示；只有当试样上两点距离为 d 时，才能使两点分辨清楚，如图 1—4(c) 所示。此 d 值就是物镜鉴别能力的极限。

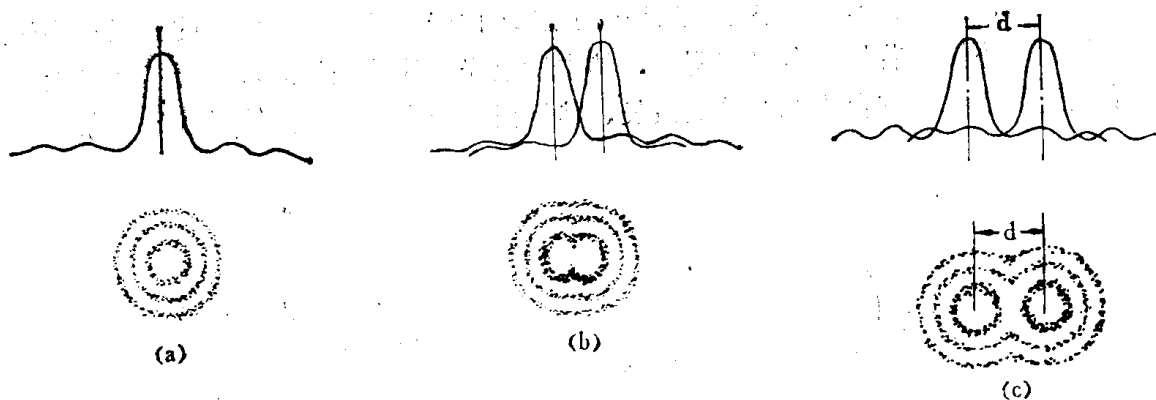


图1—4 物镜鉴别能力示意图

显微镜的鉴别能力可由下式求得：

$$d = \frac{\lambda}{2N \cdot A} \quad (5)$$

式中： λ ——入射光源的波长

$N \cdot A$ ——物镜的数值孔径，表示物镜的聚光能力。

由上式可知， λ 值越小时，鉴别极限 d 值就越小，这就是说显微镜能鉴别相距更近

的两点，即物镜的鉴别能力越高，在显微镜中就能看到更细微的部分。同样情况，当数值孔径（NA 值）越大时， d 值也就越小。数值孔径表示物镜的聚光能力，数值孔径大的物镜聚光能力强，能吸收更多的光线，使物象更加明显。数值孔径可用下列公式求得：

$$N \cdot A = n \cdot \sin \varphi \quad (6)$$

式中： n ——物镜与物体间介质的折射率

φ ——通过物镜边缘的光线与物镜轴线所成的角度，即物镜孔径角的一半。

从式中可知，当 n 和 φ 值越大时，数值孔径就越大，物镜的鉴别能力也就越高：

为了增加 φ 值（即孔径角）可增大物镜的直径，但物镜直径的增大将会使球面象差和色象差的校正困难，故通常采用缩短透镜焦距的办法来解决。

一般物镜与物体间的介质是空气，光线在空气中的折射率 $n = 1$ ，如果一物镜的孔径角为 60° ，则其数值孔径为：

$$N \cdot A = n \sin \varphi = 1 \cdot \sin 30^\circ = 0.5$$

若在物镜与试样之间滴入一种折射率较大的介质，如松柏油（ $n = 1.52$ ）则其数值孔径为：

$$N \cdot A = 1.52 \cdot \sin 30^\circ = 0.76$$

这样也就增大了物镜的数值孔径，其原理由图 1—5 加以说明。图 1—5 中(a) 是以空气为介质，由试样反射之光线在 R_1 以内均可进入物镜，而倾斜角较大的反射光线 R_2 则不能进入镜头。图 1—5(b) 是以油为介质，由试样反射之光线 R_1 趋近透镜的主轴，而原来不能进入镜头的 R_2 也能达到透镜边缘。这样透过物镜的光线将增加，使物镜的聚光能力增强，从而提高了物镜的鉴别能力。

物镜在设计和使用中指定以空气为介质的称为“干系物镜”（或干物镜），加油为介质的称为“油浸系物镜”（或油物镜）。从图 1—5 说明油物镜具有较高的数值孔径。

由上所述，可以看出物镜的数值孔径的重要性并不低于其放大倍数，如果数值孔径不足，放大倍数虽然尽量提高，也没有多大意义，因为相邻的两点若不能很好

鉴别时，即使放大倍数再高（即虚伪放大）实际上还是不能鉴别其为两点。这是因为：

人眼在 250mm 处的鉴别率为 0.15~0.30mm，要使物镜可分辨的最近两点的距离 d 能为人眼所分辨，则必须将 d 放大到 0.15~0.30mm，即

$$d \times M = 0.1 \sim 50.30(\text{mm})$$

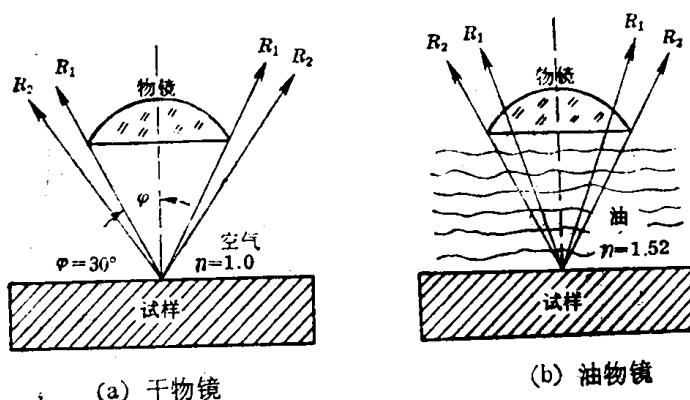


图1—5 不同介质对物镜聚光能力的比较

而

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

则

$$M = \frac{1}{\lambda} (0.3 \sim 0.6) N \cdot A$$

若取绿光, $\lambda = 0.55 \mu\text{m} = 0.0005 \text{mm}$, 则有

$$M \approx 500 N \cdot A \sim 1000 N \cdot A$$

所以显微镜的放大倍数 M 与 $N \cdot A$ 之间存在以上一定的关系。该 M 称为有效放大倍数, 是选择物镜和目镜的基础。

物镜的数值孔径与其放大倍数一起刻在镜头外壳上, 例如镜头上有 $25/0.50$ 或 $65 \times$ 的下面刻有 0.75 等数字, 这个 0.50 或 0.75 即表示物镜的数值孔径 ($N \cdot A$)。高倍物镜通常都为油浸系, 油镜头的标记用“油”(或 Oil 和 oil) 来表示。

(二) 金相显微镜的构造和使用

1. 金相显微镜的构造

金相显微镜的种类和型式很多, 最常见的型式可分为台式、立式和卧式金相显微镜三大类。金相显微镜的构造通常由光学系统、照明系统和机械系统三大部分组成, 有的显微镜还附设有照象摄影装置, 现以 XJB—1 型金相显微镜为例加以说明。

XJB—1 型金相显微镜的光学系统如图 1—6 所示。由灯泡 1 发出一束光线, 经聚光透镜组 2 的会聚及反光镜 8 的反射, 将光线聚集在孔径光栏 9 上, 之后经过聚光镜 3, 再度将光线聚集在物镜的后焦面上, 最后光线通过物镜使试样表面得到充分均匀的

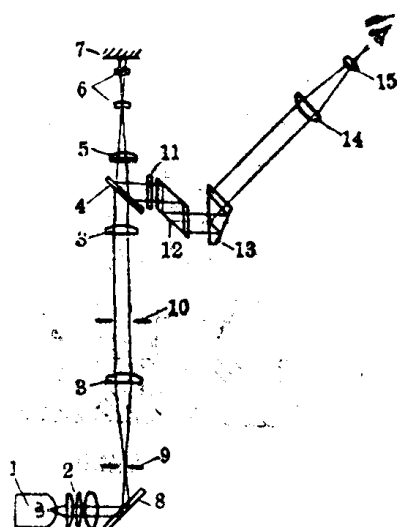


图1—6 XJB—1型金相显微镜的光学系统

1—灯泡, 2—聚光透镜组, 3—聚光镜组;
4—半反射镜, 5—辅助透镜, 6—物镜组
7—试样, 8—反光镜, 9—孔径光栏;
10—视场光栏, 11—辅助透镜, 12—棱镜;
13—棱镜, 14—场镜, 15—接目镜

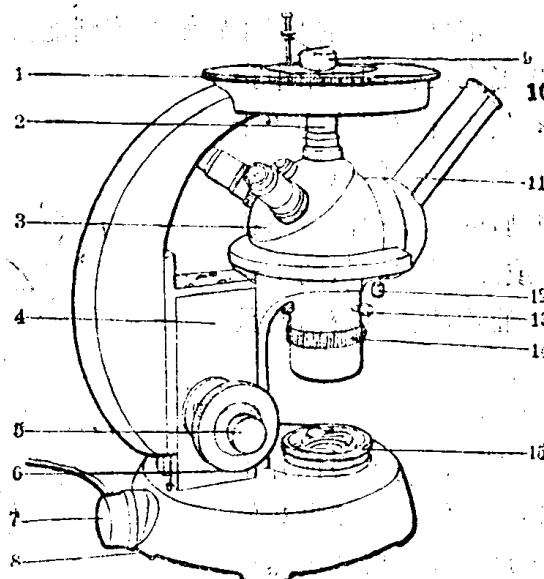


图1—7 XJB—1型金相显微镜外形结构图

1—载物台, 2—物镜, 3—转换器, 4—传动箱;
5—微动调焦手轮, 6—粗动调焦手轮;
7—电源, 8—偏心圈, 9—样品, 10—目镜;
11—目镜管, 12—固定螺钉, 13—调节螺钉;
14—视场光栏, 15—孔径光栏

照明，从试样反射回来的光线复经物镜组 6，辅助透镜 5，半反射镜 4，辅助透镜 11 以及棱镜 12 和棱镜 13 等造成一个被观察物体的倒立的放大实象，该象再经过目镜 15 的两次放大，观察者就能在目镜视场中看到试样表面最后被放大的映象。

XJB—1 型金相显微镜构造图如图 1—7 所示。现分别对其各部件的功能及使用介绍如下：

照明系统 照明系统是仪器的主要组成部分，在底座内装有一低压（6V~8V，15W）灯泡作为光源，灯泡由变压器降压供电，靠次级电压（6~8V）的调节来改变灯光的亮度。在灯泡前尚有聚光镜，孔径光栏 15 及反光镜等装置均安装在圆形底座上。另外，还有视场光栏 14 及另一聚光镜则安在支架上，通过以上一系列透镜作用和配合就组成显微镜的照明系统，使试样表面获得充分均匀的照明。

显微镜调焦装置 在显微镜体的两侧有粗动和微动调焦手轮，两者在同一部位。随粗调手轮 6 转动，通过内部齿轮转动，使支承载物台的弯臂作上下运动，在粗调手轮的一侧有制动装置，用以固定调焦正确后载物台的位置。微调手轮 5 传动内部一组齿轮，使沿着滑轨缓慢移动。在右侧手轮上刻有分度格表示物镜座上下微动 0.002mm。与刻度盘同侧的齿轮箱上刻有二条白线，用以指示微动升降范围，当旋到极限位置时，微动手轮就自动被限制住，此时，不能再继续旋转而应倒转回来使用。

载物台（样品台） 用于放置金相样品，载物台和下面托盘之间有导架，移动结构仍采用油性膜联结，在手的推动下，可引导载物台在水平面上作一定范围的十字定向移动，以改变试样的观察部位。

孔径光栏和视场光栏 通过这两个孔径可变的光栏之调节，可以提高最后映象的质量。孔径光栏装在照明反射镜座上面，调整孔径光栏能够控制入射光束的粗细，以保证映象达到清晰的程度。视场光栏则设在物镜支架下面，其作用是控制视场范围，使目镜中所见视场照亮而无阴影。在刻有直纹的套圈上还有两个调节螺钉用来调整光栏中心。

物镜转换器 转换器呈球面形，上面有三个螺孔，可安装不同放大倍数的物镜，转动转换器可使物镜镜头进入光路，并与不同的目镜搭配使用，即获得各种放大倍数。

目镜筒 目镜筒呈 45° 倾斜安装在附有棱镜的半球形座上，还可将目镜转向 90° 呈水平状态以配合照相装置进行金相摄影。

表 1—1，列出 XJB—1 型金相显微镜的物镜和目镜不同配合情况下的放大倍数。

表 1—1 XJB—1 型金相显微镜的放大倍数

光学系统	放大倍数 目 镜 物 镜	5×	10×	15×
干燥系统	8×	40×	80×	120×
干燥系统	45×	225×	450×	675×
油浸系统	100×	500×	1000×	1500×

2. 金相显微镜的使用方法及注意事项

金相显微镜是一种精密的光学仪器，因此使用时要求细心和谨慎。在使用显微镜工作之前首先熟悉其构造特点及各主要部件的相互位置和作用，然后按照显微镜的使用规程进行操作。

(1) 金相显微镜的使用规程

1. 首先将显微镜的光源插在变压器上，通过低压（6~8V）变压器接通电源。
2. 根据放大倍数选用所需的物镜和目镜，分别安装在物镜座上及目镜筒内，并使转换器转至固定位置（由定位器定位）。
3. 将试样放在样品台中心，使观察面朝下并用弹簧片压住。
4. 转动粗调手轮先使镜筒上升，同时用眼观察，使物镜尽可能接近试样表面（但不得与试样相碰）然后相反转动粗调手轮，使镜筒渐渐下降以调节焦距，当视场亮度增强时再改用细调手轮调节，直到物象调整到最清晰程度为止。
5. 适当调节孔径光阑和视场光阑，以获得最佳质量的物象。
6. 如果使用油浸系物镜，则可在物镜的前透镜上滴一点松柏油，也可以将松柏油直接滴在试样上。油镜头用后应立即用棉花沾取二甲苯溶液擦净再用擦镜纸擦干。

(2) 使用时的注意事项

1. 操作时必须特别细心，不能用任何粗暴和剧烈的动作，光学系统不允许自行拆卸。
2. 显微镜镜头的玻璃部分和试样表面严禁手指直接接触，若镜头中落有灰尘，可用镜头纸或软毛刷轻轻擦拭。
3. 显微镜的灯泡（6~8V）插头，切勿直接插在220V的电源插座上，应当插在变压器上，否则灯泡立即烧坏，观察结束要及时关闭电源。
4. 在旋转粗调（或细调）手轮时，动作要慢，碰到某种阻碍时应立即报告，弄清原因，不得用力强行转动，否则就会损坏机件。

(3) 测微目镜的校正与显微镜放大倍数的测定

在检验脱碳层深度、晶粒度评级及夹杂物定量分析等工作时，需要对组织组成物的尺寸进行定量测量，这就需用测微目镜。使用时需要对测微目镜进行校正。以测物目镜和物镜测微计各一只，测微目镜是在普通目镜光栏上（即初象焦面上）装一按0.1mm或0.5mm等分度的测微玻璃片。物镜测微计是刻有按0.01mm分度的玻璃尺，尺的刻度全长为1mm。

校正方法如下：将物镜测微计作为被观察物体置于试样台上，刻度面朝物镜，使用测微目镜观察，调好后，将物镜测微计的若干刻度 n 与测微目镜上若干刻度 m 相对齐，如图1—8所示。因为已知物镜测微计每小格为0.01mm，所以测微目镜中每小格所量度的实际长度为：

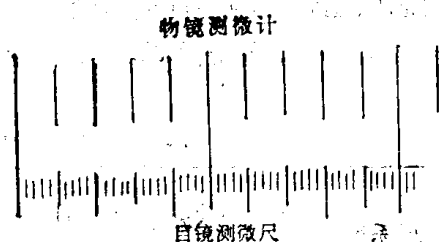


图1—8. 测物目镜刻度的校正

$$a = \frac{n}{m} \times 0.01\text{mm} \quad (7)$$

在图 1—8 中，物镜测微计上 10 格（相当于 $0.01\text{mm} \times 10 = 0.1\text{mm}$ ）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：

$$a = \frac{10}{50} \times 0.01\text{mm} = 0.002\text{毫米}$$

对组织组成物进行测量时，调好焦距后，使测微目镜刻度与组织组成物图象重合，前面已校好的测微目镜每小格所测的实际长度，便可应用它作为尺寸来量度被测物的大小了。设测得夹杂物的长度为 N 格，则这个夹杂物的实际长度为 $a \times N\text{mm}$ 。

这里应该注意一点，所测得的结果仅对校正时用的物镜才是正确的，若改用别的物镜，又需重新作校正。

显微镜的放大倍数是物镜上刻有的放大倍数与目镜上刻有的放大倍数的乘积，但是，这个放大倍数是假定显微镜的镜筒为标准长度（随制造厂而不同，一般为 $160 \sim 200\text{mm}$ ）；观察者的明视距离为 250mm 时的放大倍数。例如在摄制照片时，随相机类型的不同胶片的位置也将不同。这种情况需测量显微镜的实际放大倍数。方法如下：

先将刻有 0.01mm 的刻度的物镜测微计作为试样并摄制照片，再洗印在相纸上加以比较以决定放大倍数。这个在相纸上的最终的放大倍数即为显微照片的正确的放大倍数。

除此，还可先用物镜测微计测出视场直径 l （例如 1.00mm ），然后两手将一米尺紧挨显微镜，平放在测量者的明视距离即 250mm 处，测量者左眼注视目镜，右眼注视米尺上的刻度，用米尺量出视场图象的直径 L （例如 115mm ），则这台显微镜这时的实际放大倍数为：

$$M = \frac{L}{l} = \frac{115\text{mm}}{1.00\text{mm}} = 115 \text{ (倍)}$$

四、实验方法指导

1. 实验内容及步骤

- (1) 在本次实验中学生应首先看懂显微镜最基本的光学原理图。
- (2) 明确金相显微镜的构造和使用方法，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与控制光线等。
- (3) 要求每人实际操作金相显微镜、观察金相样品、测定显微镜的实际放大倍数、测量晶粒大小并画下显微组织示意图。

2. 实验所用设备及材料

- (1) XJB—1 型金相显微镜
- (2) 金相样品
- (3) 米尺

五、实验报告要求

- (1) 本次实验目的
- (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必须注意的有关事项
- (4) 画出你所看到的显微组织图（注明放大倍数）

实验二 金相显微试样的制备

一、实验目的

1. 学习金相试样的制备过程
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和合金组织的主要方法之一，在生产实际中，为了探索金属材料的性能，经常需要进行金相组织的检查和分析。金相显微分析就是利用显微镜的光学理论借助试样表面对光线的反射特点来进行的。为了对金相显微组织进行鉴别和研究，需要将所分析之金属材料制备成一定尺寸的试样，并经磨制抛光与腐蚀等工序，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情况。

金相样品制备的质量好坏，直接影响到组织观察的结果。如果样品制备不符合特定的要求，就有可能由于出现假象而产生错误的判断，致使整个分析得不到正确的结论。因此，为了得到合乎理想的金相显微试样，需要经过一系列的制备过程。

三、金相试样的制备方法

金相显微试样的制备过程包括有如下工序：取样、镶嵌、磨制、抛光、浸蚀等。下面就各道工序加以简要说明：

1. 取样

取样是进行金相显微分析中很重要的一个步骤，显微试样的选取应根据研究的目的，取其具有代表性的部位，例如：在检验和分析失效零件的损坏原因时（废品分析）除了在损坏部位取样外，还需要在距破坏处较远的部位截取试样，以便比较；在研究铸件组织时，由于偏析现象的存在，必须从表面层到中心，同时取样进行观察；对于轧制和锻造材料则应同时截取横向（垂直于轧制方向）及纵向（平行于轧制方向）的金相试样，以便于分析比较表层缺陷及非金属夹杂物的分布情况；对于一般经热处理后的零件，由于金相组织比较均匀，试样截取可在任一截面进行。

确定好部位后就可把试样截下，试样的尺寸通常采用直径为 $\phi 12-15\text{mm}$ 、高度（或边长）为 $12-15\text{mm}$ 的圆柱体或方形试样，如图2—1所示。

试样的截取方法视材料的性质不同而异，软的金属可用

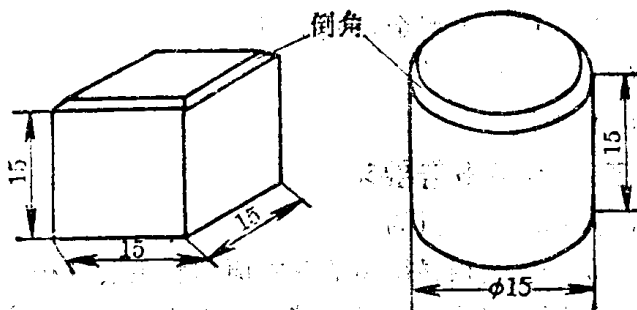


图2—1 金相试样的尺寸

手锯或锯床切割；对硬而脆的材料(如白口铸铁)则可用锤击打下；对极硬的材料(如淬火钢)则可采用砂轮切片机或电脉冲加工等切割。但是不论采用哪种方法，在切取过程中均不宜使试样的温度过于升高，以免引起金属组织的变化，影响分析结果。

2. 镶嵌

对于尺寸过于细小的金属丝、片及管等，用手来磨制，显然很困难，需要使用试样夹或利用样品镶嵌机把试样镶嵌在低熔点合金或塑料(如胶木粉，聚乙烯聚合树脂等)中，如图2—2所示。

3. 磨制

试样的磨制一般分为粗磨与细磨

(1) 粗磨 粗磨的目的是为了获得一个平整的表面，同时为了去掉截取时有组织变化的部分(如氧—乙炔割取的试样的热影响区部分)。钢铁材料试样的粗磨通常在砂轮机上进行。但在磨制时应注意：试样对砂轮的壓力不宜过大，否则会在试样表面形成很深的磨痕，从而增加了细磨和抛光的困难；要随时用水冷却试样，以免受热的影晌而起组织的变

化；试样边缘的棱如没有保存的必要，可先行磨圆(倒角)，以免在细磨及抛光时撕破砂纸或抛光布，甚至造成试样从抛光机上飞出伤人。当试样表面平整后，粗磨就告完成，然后将试样用水冲洗擦干。

(2) 细磨 经粗磨的试样表面虽较平整但仍还存在有较深的磨痕，如图2—3所示。因此，细磨的目的就是消除这些磨痕，以获得一个更为平整而光滑的磨面，并为下一步抛光作准备。

细磨是在一套粗细程度不同的金相砂纸上由粗到细依次序进行的。

砂纸号数：180、280、320、
0、01、02、03、04、05

粒度粗细：粗→细

究竟选那几号砂纸，磨到那号为止视钢料和要求的状况而定。对于一般碳钢样品选用从280至02号

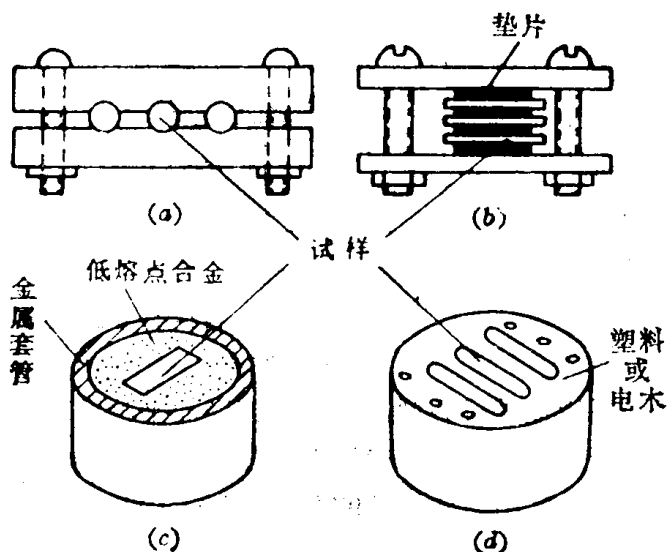


图2—2 金相试样的镶嵌方法

(a), (b) 机械镶嵌 (c) 低熔点合金镶嵌 (d) 塑料镶嵌

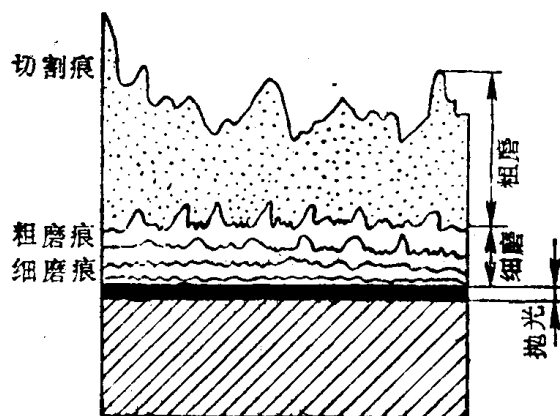
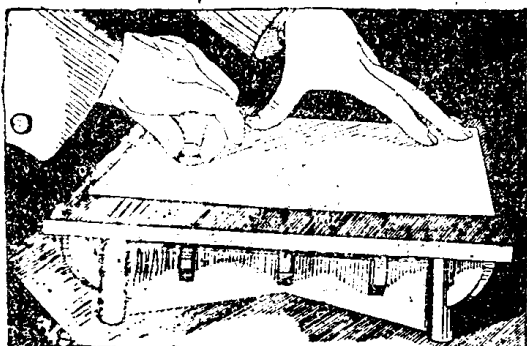


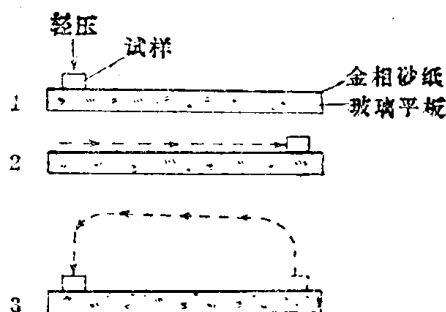
图2—3 试样磨面上磨痕变化情况示意图

砂纸。

细磨可按图2—4所示的方式进行。将砂纸平铺在玻璃板上，一手将砂纸按住，一手将试样磨面轻压在砂纸上，并向前推移进行磨削，直到磨面上仅留有一个方向的均匀的磨痕为止。在磨面上所加的压力应力求均衡，磨面与砂纸必须完全接触，这样才能使整



(a)



(b)

图2—4 手工磨光操作

(a)操作姿势；

(b)正确的磨光操作过程

个磨面平均地进行磨削。为了保证磨面平整而不产生曲面，磨削应单方向进行，向前推动时进行磨削，然后将磨片提起拉回，在回程中不与砂纸接触。在更换细一级砂纸时，须将试样的磨削方向调转90°即与上一道磨痕方向垂直，直到把上一道砂纸所产生的磨痕全部消除为止。此外，在更换砂纸时还应将试样，玻璃板清理干净，以防粗砂粒带到下一道细砂纸上产生粗的深痕。

为了加快磨制速度可采用在转盘上贴有不同型号砂纸的预磨机实现机械磨光。

4. 抛光

细磨后的试样还需进行最后一道磨制工序——抛光，其目的是去除细磨时遗留下来的细微磨痕，以获得光亮无疵的镜面。

试样的抛光一般可分为：机械抛光、电解抛光和化学抛光。

(1) 机械抛光 试样的机械抛光是在专用抛光机上进行的。抛光机的主要结构是由电动机和水平抛光盘组成，转速300~500转/分钟。抛光盘上铺以细帆布、呢绒、丝绸等抛光织物。抛光时在抛光盘上不断滴注抛光液，抛光液通常采用 Al_2O_3 、 MgO 或 Cr_2O_3 等细粉末（粒度约为0.3~1 μ ）在水中的悬浮液（每升水中加入 Al_2O_3 5~10克）或采用由极细钻石粉制成的膏状抛光剂等。 Al_2O_3 又称刚玉，白色透明，用于粗抛和精抛。 MgO 白色，适用于铝、镁及其合金等软性材料的最后精抛。 Cr_2O_3 绿色，具有很高的硬度，适用于淬火后的合金钢，高速钢以及钛合金的抛光。

机械抛光就是靠极细的抛光粉与磨面间产生的相对磨削和滚压作用来消除磨痕的。操作时将试样磨面均匀地压在旋转的抛光盘上（可先轻后重）并沿盘的边缘到中心不断作径向往复移动，抛光时间一般约3~5分钟，最后抛光后，试样表面应看不出任何磨痕而呈光亮的镜面。需要指出的是抛光时间不宜过长，压力也不可过大，否则将会产生紊乱层而导致组织分析得出错误的结论。

抛光结束后用水冲洗试样并用棉花擦干或吹风机吹干，若只需要观察金属中的各种