

高等学校教材

机械工程材料 实验及 课堂讨论 指导书

赵晓军 刘金利 张代东 主编

机械工业出版社

高等学校教材

机械工程材料 实验及课堂讨论指导书

赵晓军	刘金利	张代东	主编
吕英怀	逮允海	陈耀声	
	吴晶	张列林	参编
		崔占全	主审

江苏工业学院图书馆
藏书章

机械工业出版社

(京)新登字 054 号

本书是机械工程材料课程的配套教材,它由两部分内容组成:第一部分为实验指导书,该部分由实验基础知识和基本实验组成,有关实验方法及技术要求均按新的国家标准编写。另外,对目前金相检验及性能测试中出现的新方法亦有所阐述。第二部分为课堂讨论指导,通过课堂讨论可使学生加深对教材内容的理解和深化,从而获得坚实的基础理论知识。

本教材是高等院校机械类及近机械类各专业的一本实验及课堂讨论的辅助教材,亦可供有关科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料实验及课堂讨论指导书/赵晓军等主编.

—北京:机械工业出版社,1994,12

ISBN 7-111-04446-0

I. 机… Ⅱ. 赵… Ⅲ. ①工程材料-机械制造-实验②工程材料-机械制造-教学参考资料 IV. TH14-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 10332 号

出版人:马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:常燕宾 版式设计:霍永明 责任校对:樊中英

封面设计:郭景云 责任印制:卢子祥

北京市密云县印刷厂印刷·机械工业出版社发行

1994 年 12 月第 1 版·1994 年 12 月第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·4.5 印张·103 千字

00 001—10 000 册

定价:4.00 元

前 言

本书是根据 1991 年机械部部属院校第六届《机械工程材料》《金属学及热处理》课程协作会议的决定,为适应高等学院机械制造冷加工各专业加强实验教学环节课堂讨论需要而组织编写的。该书可作为《机械工程材料》的辅助材料,并与之配套使用。

本书分为“实验”与“课堂讨论”两大部分,内容的深广基本符合教学大纲要求。实验指导书除介绍实验基本知识外,还包括七个基本实验。实验内容侧重于金相显微组织观察、热处理操作和检测设备(显微镜、硬度计等基本实验仪器设备)的使用,使学生在金相实验基本技能方面得到初步训练。其目的在于培养学生的观察能力。各校可根据实际教学情况,选做部分实验。

课堂讨论部分对学生加深理解和掌握教材的重点和难点、启发学生积极思维均有好处,是学生应用所学知识解决实际问题的一种模拟实践。共安排四次讨论,以供选择。

参加本书编写的都是在各高等院校机械工程材料教学及实验第一线多年的教师,他们是:西安理工大学刘金利(前言、硬度试验及实验三)、东北重型机械学院吕英怀(显微镜的基本原理、构造及使用)、逮允海(课堂讨论部分)、太原重型机械学院张代东(金相试样的制备及实验二)、镇江船舶工程学院陈耀声(实验一)、长沙铁道部学院张列林(实验四)、江苏理工大学吴晶(实验五、七),赵晓军(实验六)。

全书编写过程中得到课程协作组负责同志及有关教师崔明勋、马泗春、孙广锡、任润刚老师的热情指导,谨表示衷心感谢!

本书由赵晓军、刘金利、张代东主编,由东北重型机械学院崔占全主审。

由于编写水平所限,时间仓促,书中难免存在缺点和错误,恳切希望同行和读者指正。

编 者

1994 年 7 月于西安

目 录

前言

第一部分 实验指导书

实验基础知识

一、显微镜的基本原理、构造及使用 (1)

二、金相试样的制备 (7)

三、硬度试验 (9)

基本实验

实验一、铁碳合金平衡组织观察 (15)

思考题 (21)

实验二、碳钢的热处理操作 (21)

思考题 (24)

实验三、碳钢热处理后的显微组织观察 (24)

思考题 (29)

实验四、钢的淬透性测定 (29)

思考题 (33)

实验五、常用金属材料的显微组织观察 (33)

思考题 (39)

实验六、非金属材料的性能测试及显微组织观察 (39)

思考题 (41)

实验七、综合实验 (41)

第二部分 课堂讨论指导书

课堂讨论一、铁碳相图 (46)

课堂讨论二、钢的热处理 (48)

课堂讨论三、合金钢 (53)

课堂讨论四、材料的选择和应用 (58)

附表一、常用的化学浸蚀剂 (63)

附表二、压痕直径与布氏硬度对照表 (GB231—84) (64)

附表三、黑色金属硬度及强度换算值 (GB—1172—74) (66)

第一部分 实验指导书

实验基础知识

一、显微镜的基本原理、构造及使用

利用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显微镜下放大后进行观察、研究其组织与缺陷的方法称为金属的显微分析。显微分析可以研究金属及合金组织与化学成分之间的关系；确认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，如各种氧化物、硫化物等非金属夹杂物在组织中的数量及分布状况，以及金属晶粒度大小等。

由于光学显微镜的分辨率不高，不能研究材料的更精细的微观结构，因此出现了分辨率更高，放大倍数更大的电子显微镜。电子显微镜虽然比光学显微镜的历史短，但其发展速度很快，应用范围广泛。由于电子显微镜采用波长比可见光短得多的电磁波照明样品，它的分辨率远远超过一般的光学显微镜。在现代金相显微分析中，使用的主要仪器有光学显微镜和电子显微镜两大类。本实验以光学显微镜为主要内容，对电子显微镜只作扼要介绍。

1. 金相显微镜

研究金相显微组织的光学显微镜称为金相显微镜

为了了解金属材料微观组织和缺陷，单凭肉眼和一般放大镜是不够的，必须用金相显微镜才能清楚地看到金属材料的显微组织和缺陷。金相显微镜不同于生物显微镜。生物显微镜是利用透射光来观察透明的物体；金相显微镜则是利用反射光对不透明物体表面放大后进行观察。

(1) 金相显微镜的基本原理 金相显微镜由两个透镜组成，对着金相试样的透镜称为物镜，对着人眼的透镜称为目镜。借助于物镜与目镜的两次放大，就能使物体的象放大到很高的倍数，其光学原理如图 0-1 所示。

当所观察的物体 AB 置于物镜焦点 F_1 外少许时，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 AB 处于目镜的前焦距以内，再经过目镜放大后，人眼在目镜上观察时，在 250mm 的明视距离处（正常人眼看物体时，最适宜的距离大约在 250mm 左右，这

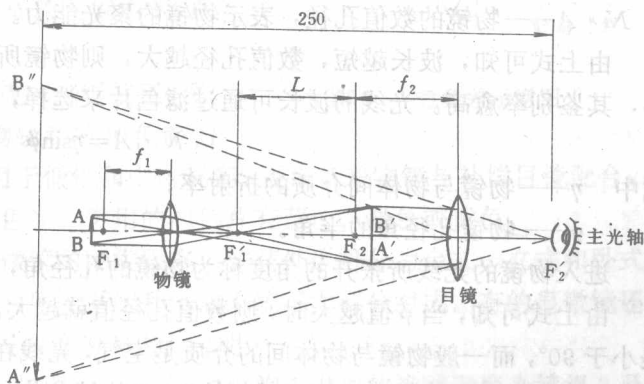


图 0-1 金相显微镜光学原理示意图

时人眼可以很好地区分物体的细微部分而不易疲劳, 这个距离称为“明视距离”), 看到一个经再次放大的虚象 $A''B''$ 。所以, 观察到的物象是经物镜和目镜两次放大的结果。

金相显微镜质量的优劣, 主要是取决于以下几点:

- 1) 显微镜的放大倍数
- 2) 显微镜的鉴别率
- 3) 透镜成像的质量。

(2) 金相显微镜的放大倍数 放大倍数由下式来确定

$$M = M_{\text{物}} \times M_{\text{目}} = \frac{L}{f_1} \times \frac{D}{f_2} = \frac{250L}{f_1 f_2}$$

式中 M ——显微镜放大倍数;

$M_{\text{物}}$ ——物镜的放大倍数;

$M_{\text{目}}$ ——目镜的放大倍数;

f_1 ——物镜的焦距;

f_2 ——目镜的焦距;

L ——显微镜的光学镜筒长度;

D ——明视距离 (250mm)。

由上式可知, 显微镜总的放大倍数就是物镜和目镜放大倍数的乘积。 $f_{\text{物}} \cdot f_{\text{目}}$ 越小或 L 越长, 则显微镜的放大倍数越大。

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。

(3) 金相显微镜的鉴别率 显微镜的鉴别率是显微镜最重要的特性, 它是以显微镜在视场中能分辨出相邻两点间的最小距离 d 来表示。显然, d 值越小, 鉴别率就越高。由于物镜使被观察物体第一次放大, 故显微镜的鉴别率主要取决于物镜的鉴别率。它可由下式求得

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

式中 d ——物镜能分辨出的物体相邻两点的最小距离;

λ ——入射光线的波长;

$N \cdot A$ ——物镜的数值孔径, 表示物镜的聚光能力。

由上式可知, 波长越短, 数值孔径越大, 则物镜所能分辨出的物体相邻间的最小距离愈小, 其鉴别率愈高。光线的波长可通过滤色片来选择, 数值孔径可由下式求得:

$$N \cdot A = \eta \sin \phi$$

式中 η ——物镜与物体间介质的折射率;

ϕ ——物镜孔径角的半角。

进入物镜的光线所张开的角度称为物镜的孔径角, 其半角为 ϕ , 如图 0-2 所示。

由上式可知, 当 ϕ 值越大时, 则数值孔径值就越大, 物镜的鉴别能力也就越高。由于 ϕ 总是小于 90° , 而一般物镜与物体间的介质是空气, 光线在空气中的折射率 $\eta=1$, 其数值孔径总是小于 1, 这类物镜被称为“干系物镜”。当物镜与物体之间充满松柏油介质 ($\eta=1.51$) 时, 其数值孔径最高可达 1.4 左右, 这就是显微镜在高倍观察时使用的“油浸系物镜”(又称为油镜头)。

综上所述,可以看出物镜的数值孔径重要性并不低于其放大倍数。如果数值孔径不足,此时尽量提高放大倍数也没有多大意义。因为相邻两点若不能很好鉴别时,即使放大倍数再高(即虚伪放大),实际上还是不能清楚区别两点。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

$$dM = 0.15 \sim 0.30 \text{ mm}$$

$$\text{因 } d = \frac{\lambda}{2NA}$$

$$\text{则 } M = \frac{1}{\lambda} (0.3 \sim 0.6) NA$$

若取 $\lambda = 0.55 \mu\text{m} = 0.00055 \text{ mm}$, 则有

$$M \approx (500 \sim 1000) NA$$

所以显微镜的放大倍数 M 与 NA 之间存在一定的关系。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 0.5 或 0.75 即表示物镜的数值孔径。高倍物镜都为油浸系,油镜头的标记用“油”(或 oil)来表示。

(4) 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,象差主要包括球面象差、色象差。

当来自某点的单色光(即一定波长的光线)通过透镜后,由于透镜表面呈球形,光线不能交于一点,而使放大后的象模糊不清。此现象称为球面象差。

降低球面象差的办法,除了制造物镜时采取不同透镜的组合进行必要的校正外,在使用显微镜时也可采取调节孔径光栏,适当控制入射光束粗细,减少透镜表面面积等方法,把球面象差降低到最低程度。

图 0-3 为色象差示意图,白色光是由七种单色光组成,当来自 A 点的白色光通过透镜后,由于各单色光的波长不同,折射率不一样,使光线折射后不能交于一点。紫光折射最强,红光折射最弱,结果使成象模糊不清,此种现象称为色象差。

消除色象差的方法,一是制造物镜时进行校正。根据校正的程度,物镜可分为消色差物镜和复消色差物镜。消色差物镜常与普通目镜配合,用于低倍和中倍观察;复消色差物镜与补偿目镜配合,用于高倍观察。二是使用滤色片得到单色光。常用的滤色片有蓝色、绿色或黄色。

(5) 金相显微镜的构造 金相显微镜的种类很多,按其外形可分为台式、立式和卧式三大类。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。有的显微镜还有摄影装置。现以国产 XJB-1 型金相显微镜为例进行说明。

XJB-1 型金相显微镜的光学系统如图 0-4 所示。由灯泡 1 发出的光线经聚光镜组 2 及反光镜 8 聚集到孔径光栏 9 上,然后经过聚光镜 3,再度将光线聚集在物镜的后焦面上,最后通过物镜平行照射到试样 7 表面。从试样反射回来的光线复经物镜组 6 和辅助透镜 5,由半反射

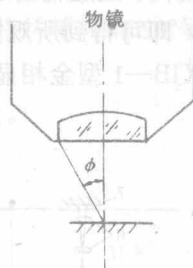


图 0-2 孔径角

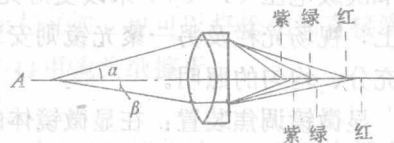


图 0-3 色象差示意图

镜4转向,经过辅助透镜及棱镜造成一个被观察物体的倒立放大实象,该象再经过目镜15的放大,即可得到所观察的试样表面的放大图象。

XJB-1型金相显微镜的外形结构如图0-5所示,现分别介绍各部件的功能与作用。

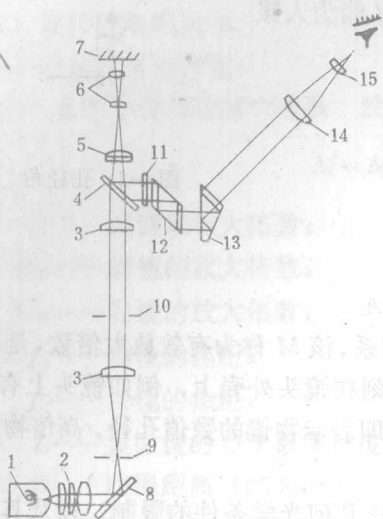


图0-4 XJB-1型金相显微镜的光学系统

- 1—灯泡 2—聚光镜组 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

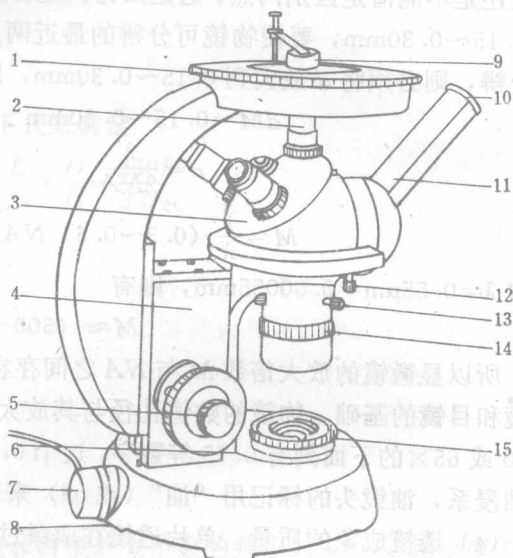


图0-5 XJB-1型金相显微镜外形结构图

- 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—光源 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

照明系统：在底座内装有一低压（6~8V, 15W）灯泡作为光源，由变压器降压供电，靠调节次级电压（6~8V）来改变灯光亮度。聚光镜、孔径光栏及反光镜等装置均安装在圆形底座上，视场光栏及另一聚光镜则安装在支架上，它们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旋钮，两者在同一部位。随着粗动调焦旋钮6转动，通过内部齿轮传动，使支撑载物台的弯臂作上下运动。在粗动调焦旋钮的一侧有制动装置，用以固定调焦正确后载物台的位置。微动调焦旋钮5转动内部一组齿轮，使其沿着滑轨缓慢移动。在右侧旋钮上刻有分度格，每一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，用以指示微动升降的极限范围，微调时不能超出这一范围，否则将会损坏机件。

载物台（样品台）：用于放置金相试样。载物台和下面托盘之间有导架，在手的推动下，可使载物台在水平面上作一定范围的移动，以改变试样的观察部位。

孔径光栏和视场光栏：调正孔径光栏能够控制入射光束的粗细，以保证物象达到清晰的程度。视场光栏的作用是控制视场范围，使目镜中视场明亮而无阴影。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，旋动转

换器可使各物镜镜头进入光路，与不同的目镜搭配使用，可获得各种放大倍数。

目镜筒：目镜筒呈 45° 倾斜安装在附有棱镜的半球形的座上，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 0-1 列出了金相显微镜的物镜和目镜不同配合情况下的放大倍数。

表 0-1 XJB—1 型金相显微镜的放大倍数

光学系统	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×

(6) 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，必须细心谨慎使用，初次操作显微镜之前，应首先熟悉其构造特点及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。

使用 XJB—1 型金相显微镜时，应按下列步骤进行：

1) 根据放大倍数选用所需的物镜和目镜。分别安装在物镜座和目镜筒内，并使转换器转至固定位置（由定位器定位）

2) 转动载物台，使物镜位于载物台中心孔的中央。然后把金相试样的观察面朝下倒置在载物台上。

3) 将显微镜的光源插头插在变压器上，通过低压（6~8V）变压器接通电源。

4) 转动粗调旋钮先使载物台下降，使物镜尽可能接近试样表面（但不得与试样相碰），然后向相反方向转动粗调旋钮，使载物台慢慢上升以调节焦距，当视场亮度增强时再改用微调旋钮进行调节，直至物象调整到最清晰程度为止。

5) 适当调节孔径光栏和视场光栏，以获得最佳质量的物象。

6) 如果使用油浸物镜，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，再用镜头纸擦干。

在使用金相显微镜时，一般应注意以下事项：

1) 金相试样要干净，不得残留有酒精和浸蚀剂，以免腐蚀显微镜的镜头，更不能用手指直接接触镜头，若镜头落有灰尘时，可用镜头纸擦拭。

2) 照明灯泡（6~8V）插头，切勿直接插在 220V 的电源插座上，否则灯泡会立即烧坏，观察结束后要及时关闭电源。

3) 操作时必须特别细心，不得有粗暴和剧烈的动作，光学系统不允许自行拆卸。

4) 在更换物镜或调焦时，要谨防物镜受碰撞而损坏。

5) 在旋转粗调（或微调）旋钮时，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，否则会损坏机件。

2. 电子显微镜

电子显微镜可分为透射式、扫描式、反射式及发射式四种。下面主要介绍透射电镜和扫描电镜的原理及使用范围。

(1) 透射电子显微镜

1) 透射电子显微镜的成像原理。图 0-6 为透射电子显微镜的镜体剖面示意图。从光学成像原理来看,透射电镜和光学显微镜之间的差别主要有以下几个方面,即透射电镜的照明光源是电子束,光学显微镜的照明光源是可见光;电子束是用电磁透镜来聚焦,而可见光是用玻璃透镜来聚焦。透射电镜的物镜和投影镜(相当于目镜)之间装有一个中间镜,中间镜的引入不仅可以调节放大倍数,而且可以进行电子衍射操作;可见光形成的象可以在毛玻璃或白色屏幕上显示出来,而由电子束形成的象只能在荧光屏上才能显示出来。透射电镜的放大倍数由几百倍至几十万倍,分辨率可达 $0.3 \sim 0.5\text{nm}$ 以下,它最主要特点是既可进行形貌分析又可以做电子衍射分析。

2) 透射电子显微镜的结构。透射电镜是由三个主要部分组成的,它们分别是照明系统、成像系统、观察及照相系统。现将这三个系统简述如下:

① 照明系统:照明系统主要由电子枪和聚光镜组成。电子枪是发射电子的照明光源。而聚光镜的作用是把由电子枪发射出来的电子束会聚在样品上。

② 成像系统:成像系统主要是由物镜、中间镜和投影镜组成。通过这三级透镜把象进行三次放大,其中物镜是最关键的,必须要分辨率高,象差小,因为物镜是第一级放大,任何微小的象差在经过两级放大后会增大很多,故在物镜中除安置物镜光栏外,还装有物镜消象散器。

③ 观察及照相系统:通过放大后的图象可在荧光屏上显示,当需要照相时,翻起荧光屏即可使装在屏下面的感光胶片感光,先进的透射电镜都装有自动曝光控制装置,并能在底片上打上编号及放大倍数等。

3) 透射电子显微镜的样品制备。由于试样对电子束的强烈散射作用,使电子束的穿透能力受到很大的限制。因此,用于透射电镜的样品非常薄,一般在 $5 \sim 500\text{nm}$ 之间。要制成这样薄的样品,必须通过一些特殊的方法。目前主要采用的样品制备方法是:

① 间接样品:一级复型、二级复型和萃取复型。

② 半间接样品:萃取复型。

③ 直接样品:金属薄膜。

(2) 扫描电子显微镜

1) 扫描电镜成像原理。扫描电子显微镜的成像原理和透射电镜完全不同,它不是用电磁透镜放大成像,而是利用扫描电子束从样品表面激发出各种物理信号(如二次电子、俄歇电子、背散射电子、吸收电子、标识 X 射线及透射电子等)来调制成的。扫描电镜的放大倍数

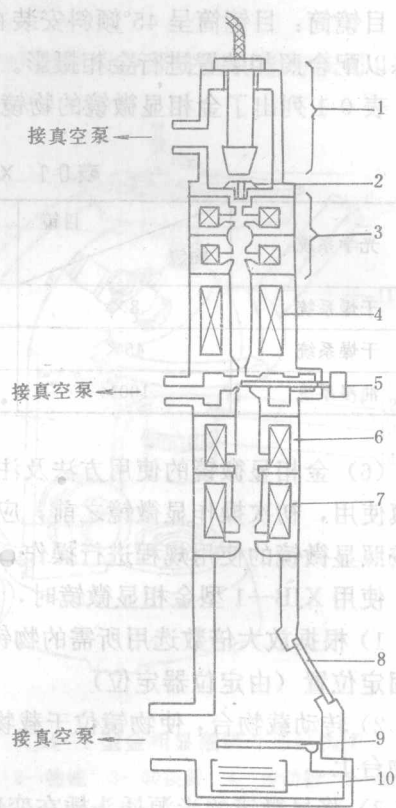


图 0-6 透射电镜的镜体剖面图

1—电子枪 2—阳极 3—聚光镜 4—物镜
5—样品架 6—中间镜 7—投影镜 8—观察窗口 9—荧光屏 10—底片

可从数倍连续放大到 20 万倍左右,分辨率达到 4~5nm。它主要的特点是可以进行形貌分析和微区成分分析等。

2) 扫描电子显微镜的结构。扫描电镜主要由电子光学系统、信号收集和图象显示系统组成。

① 电子光学系统:电子光学系统包括电子枪、电磁聚光镜、扫描线圈和样品室。

扫描电镜中各电磁聚光镜都不作成象透镜用,它们的功能只是把电子枪的束斑逐级聚焦缩小。而扫描线圈的作用是使电子束偏转,并在样品表面作有规则的扫动,电子束在上、下偏转线圈的作用下,扫描出一个长方形,相应地在样品上也画出一帧比例图象,样品室内除放置样品外,还安置信号探测器,探测器安放的位置将直接影响分析精度。

② 信号的收集和图象显示系统:由于样品上各点的状态都不相同,所以接收到的信号也不相同,于是就可以在显象管上看到一幅反映试样各点状态的扫描电子显微图象。

二、金相试样的制备

1. 取样

在实际金相检验中,取样是重要的一步,要根据被检验金属材料或零件的特点、加工工艺、失效形式及不同目的进行选择。

(1) 取样部位及检验面的选择 取样部位及检验面的选择应具有最好或较好的代表性。例如:

对于轧材,若研究材料表层缺陷,如非金属夹杂物的分布,要在垂直于轧制方向上取横向试样;若研究夹杂物的类型、形状、材料的变形度,晶粒的拉长程度,带状组织等,则要在平行于轧制方向上取纵向试样。

研究热处理后的零件时,因组织较为均匀,可选任一断面试样。如研究氧化、脱碳、表面处理的情况时,则要在横断面上取样观察,并注意分析表面组织。

研究铸造合金时,因组织不均匀,要从铸件表层到中心分别截取几个试样进行分析。

研究零件失效、破裂原因时,要在失效、破裂部位和远离失效部位分别取样,以便分析比较。

(2) 试样的截取 截取中首先要保证检验部位的金相组织不发生变化。软材料可用锯、车、刨等方法截取,硬材料可用砂轮切割机切割或线切割机切割,硬而脆的材料(如白口铸铁)可用锤击取样。

(3) 试样尺寸 试样的大小视具体情况而定,一般以便于握持、易于磨制为准。通常方形试样边长为 10~12mm,圆形试样为 $\phi 12 \times 12\text{mm}$ 。对尺寸过小、形状不规则的试样如薄片、细丝、细管等不易握持磨制的则要进行镶样。

2. 镶样

镶样多采用热压镶样法和机械镶样法。

热压镶样法是将试样放在电木粉或塑料粒中加热到 110~165℃,在镶样机上进行热压成形。由于热压镶样需一定的温度和压力,不适合于低温发生组织转变(如淬火马氏体)的材料和较易产生塑性变形的软金属材料。

机械镶嵌法即设计专门的夹具来夹持试样,以避免热压镶嵌的不足。

3. 磨样

试样磨制分为粗磨和细磨,磨制方法有手工磨样和机械磨样。

(1) 手工磨样 粗磨一般在砂轮机上进行, 手工磨样时用砂轮侧面, 以保证试样磨平, 并不断用水冷却, 避免温度升高造成试样内部组织发生变化。

手工细磨是用手握持试样, 直接在垫有玻璃板的金相砂纸上进行磨光。金相砂纸按粗细分为 01 号、02 号、03 号、04 号和 05 号, 细磨时依次从 01 磨到 05 号砂纸。

手工细磨必须注意:

- 1) 使磨面与砂纸完全接触, 均匀用力向前推行磨制。在回程时, 应提起试样不与砂纸接触, 以保证磨面平整而不产生弧度。
- 2) 磨制时按砂纸粗细依次进行, 不宜跳号。每换一道砂纸, 应将试样调转 90° 再磨, 使磨制方向与上一道磨痕方向垂直, 直到前一道磨痕全部消除。
- 3) 每更换一道砂纸, 试样、玻璃板及操作者的手均应擦干净, 以免把粗砂粒带到下一道细砂纸上, 造成大的磨痕。

(2) 机械磨样 由于手工磨制速度慢、效率低、劳动强度大, 大批量磨制时多采用机械磨制的方法。

机械磨制通常采用在转盘上贴水砂纸的预磨机上进行。水砂纸按粗细有 200、300、400、500、600、700、800、900 号等。用水砂纸盘磨样时, 应不断加水冷却。同样, 每换一道砂纸时, 试样用水冲洗干净, 也调换 90° 方向。

4. 抛光

细磨后试样要进行抛光, 以去除试样磨面上的细微磨痕, 使磨面呈光亮无痕的镜面。

金相试样常用的抛光方法有机械抛光, 电解抛光和化学抛光三种, 其中机械抛光应用最广, 下面主要介绍机械抛光。

(1) 机械抛光 机械抛光是在专用抛光机上进行。抛光机主要由电动机和抛光圆盘 (直径 200~300mm) 组成, 抛光盘转速为 200~600r/min。抛光盘上铺以细帆布、呢绒、丝绸等。抛光时抛光盘上不断滴注抛光液。抛光液采用 Al_2O_3 、 MgO 或 Cr_2O_3 等细粉末 (粒度约为 0.3~ $1\mu\text{m}$) 在水中的悬浮液。机械抛光就是靠极细的抛光粉对磨面的机械作用来消除磨痕而使其成为光滑的镜面。

可按不同要求选用抛光织物和磨料。对于抛光织物的选用, 钢一般用细帆布和丝绒; 灰铸铁为防止石墨脱落或甩尾可用没有绒毛的织物; 铝、镁、铜等有色金属可用细丝绒。一般说, 钢、铸铁可用氧化铝、氧化铬及金刚石研磨膏; 有色金属等软材料可用细粒度氧化镁。在实际使用中, 应根据织物的性能及被抛光试样的特点, 灵活选用。

操作时将试样磨面均匀地压在旋转的抛光盘上, 并沿盘的边缘到中心不断作径向往复运动, 同时, 试样自身略加转动, 以便试样各部分抛光程度一致及避免甩尾现象的出现。抛光过程中, 抛光液的滴注量以试样离开抛光盘后, 试样表面的水膜在数秒内自行挥发为宜。抛光时间一般为 3~5min。抛光后的试样其磨面光亮无痕, 且石墨或夹杂物等不应抛掉或有甩尾现象。

抛光后的试样应用清水冲洗干净; 然后用酒精冲去残留水滴, 再用吹风机热风吹干。

(2) 电解抛光 电解抛光是将试样放在电解液中作为阳极, 用不锈钢板或铅板作阴极, 以直流电通过电解液到阳极 (即样品), 这样, 试表面凸起部分被溶解而被抛光。这种方法的优点是, 不但抛光速度快, 而且表面光洁, 只产生纯化学的溶解作用而无机械力的影响, 因此抛光过程中不会产生歪曲试样磨面真实组织的塑性变形层, 但电解抛光过程不易控制。

(3) 化学抛光 化学抛光是将化学试剂涂在经过粗磨的试样表面上, 经过数秒至几分钟, 依靠化学腐蚀作用使表面发生选择性溶解, 从而得到光滑平整的表面, 其实质与电解抛光类似。

5. 浸蚀

抛光后的试样磨面是一光滑面, 若直接放在显微镜下观察, 只能看到一片亮光, 除某些非金属夹杂物、石墨、孔洞、裂纹外, 无法辨别出各种组成物及其形态特征。必须经过适当的浸蚀, 才能使显微组织正确地显示出来。目前, 最常用的浸蚀方法是化学浸蚀法。化学浸蚀是将抛光好的试样磨面在化学浸蚀剂(常用酸、碱、盐的酒精或水溶液)中浸蚀或擦蚀一定时间, 利用浸蚀剂对试样表面的化学溶解作用或电化学作用(即微电池原理)来显示组织。

浸蚀纯金属及单相合金时, 主要是一个纯化学溶解过程。由于晶界原子排列较乱, 缺陷及杂质较多, 具有较高的能量, 故晶界易被浸蚀而呈凹沟。在显微镜下观察时, 使光线在晶界处被漫射而不能进入物镜, 因此, 显示出一条条黑色的晶界。

应当指出, 纯金属与单相合金中各个晶粒的成分虽然相同, 但由于其原子排列位向不同, 也会使磨面上各晶粒的浸蚀程度不一致, 在垂直光线照射下, 各个晶粒就呈现出明暗不一的颜色。

对于两相或多相的合金组织, 其浸蚀过程主要是一个电化学腐蚀过程。如珠光体组织(铁素体+渗碳体), 由于各组成相的化学成分和结构不同, 故具有不同的电极电位, 浸入浸蚀剂中就在两相之间形成无数对“微电池”, 具有负电位的一相(铁素体)成为阳极, 被腐蚀(即溶解)而形成凹洼; 具有正电位的另一相(渗碳体)成为阴极, 不受浸蚀而保持原有平面。当光线照射在凹凸不平的试样表面时, 由于各处对光线的反射程度不同, 在显微镜下就能看到不同的组织和组成相。

化学浸蚀剂的种类很多, 应按金属材料的种类和浸蚀的目的, 选择恰当的浸蚀剂。钢铁材料最常用的浸蚀剂为 3%~4% 硝酒精溶液或 4% 苦味酸酒精溶液。金属材料常用的化学浸蚀剂见附表一。

三、硬度试验

硬度示值是表示材料软硬程度的数量指标, 机械工业中常用压入法进行测定。由此可以认为硬度是材料抵抗另一更硬物体压入其表面的能力, 其实质是材料表面在接触应力作用下对局部塑性变形的抗力。硬度可以综合反应材料的力学性能(强度、塑性、弹性、耐磨性等), 它是材料的主要性能指标之一。而且, 硬度试验操作简便、迅速, 不损坏试件。因此, 硬度试验在工业生产和科学研究中得到广泛应用。另外, 硬度与抗拉强度之间有一定的换算关系。其换算值可查阅有关国家标准。

常用的金属硬度试验方法有:

(1) 布氏硬度 常用于金属原材料和毛坯的硬度检验, 也可以应用于热处理后半成品的硬度检验。

(2) 洛氏硬度 主要用于热处理后的各类金属产品的硬度检验。

(3) 维氏硬度 大多用于较薄工件或零件表层的硬度测定, 以及较精确的硬度测定, 其硬度测量范围较宽。

(4) 显微硬度 用于测定金属内部显微组织或相的硬度, 也可以对非金属材料进行硬度测定。

下面介绍应用最广泛的布氏硬度和洛氏硬度试验。

(一) 布氏硬度试验

1. 试验原理

用直径为 D (mm) 的钢球或硬质合金球, 在一定的负荷 F (kgf^① 或 N) 作用下, 压入被测金属表面 (图 0-7a), 并保持一定时间后卸除负荷。以球体在金属表面所压出的压痕面积 A 除以负荷所得的商作为硬度值, 用符号 HB 表示, 其计算公式为

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D [D - (D^2 - d^2)^{1/2}]} \quad (0-1)$$

式中 HB——布氏硬度值;

F ——负荷 (kgf);

A ——压痕面积 (mm²);

D ——球体直径 (mm)。

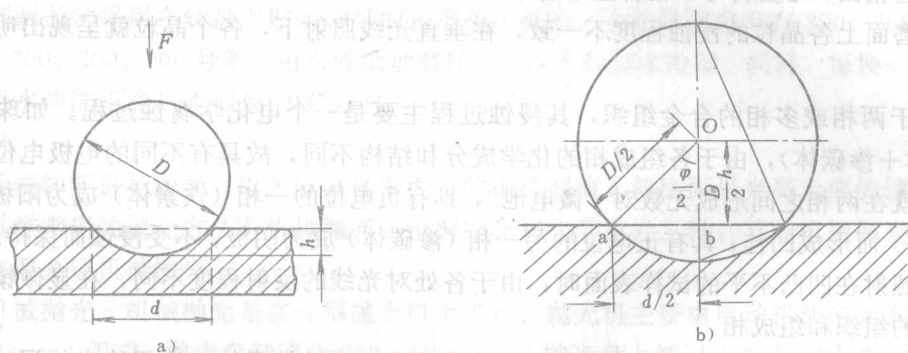


图 0-7 布氏硬度试验原理图

a) 试验原理 b) ϕ 和 d 的关系

球体直径 D 和负荷 F 是试验时选定的, 因此, 只要测出压痕直径 d , 根据上式就能计算出布氏硬度值 HB。在实际试验时, 可根据测得的压痕直径 d 直接查表 (见附表二) 求得布氏硬度值, 不必代入公式 (0-1) 进行繁琐的计算。

在布氏硬度试验时, 由于实际试件软硬不同, 厚薄不同, 而所产生的压痕又必须满足 $0.24D < d < 0.6D$ 条件, 才能使测值有效。因此, 仅用一种负荷 F (如 3000kgf) 和一种球体直径 D (如 10mm) 是不能满足使用要求的, 所以往往需要采用几种负荷和不同直径的球体进行试验。这时, 对于同一材料如何保证得到相同硬度值对于不同材料所得硬度值可否相互比较? 这就需要运用几何相似原理。

从图 0-7b 可以看出压痕直径 d 和压入角 ϕ 的关系是:

$$\sin \frac{\phi}{2} = \frac{d/2}{D/2} \quad \text{即 } d = D \sin \frac{\phi}{2} \quad (0-2)$$

代入式 (0-1) 后得:

① 目前使用的硬度计负荷大多仍用 kgf, 此处暂保留。

$$HB = \frac{F}{D^2} = \frac{2}{\pi \left[1 - \left(1 - \sin^2 \frac{\phi}{2} \right)^{1/2} \right]} \quad (0-3)$$

由式 (0-3) 可知, 要保证同一材料在不同的 D 、 F 下测得的布氏硬度值相同, 必须使形成的压入角 ϕ 为常数, 即得到几何形状相似的压痕; 此外, 还应保持 F/D^2 为一常数。

当采用不同的负荷 F 和球体直径 D 进行试验时, 由于同一材料其硬度是一定值, 只要能满足 F/D^2 为常数, 则必能保证所形成的压入角 ϕ 为一常数, 这样对同一材料来说所测布氏硬度值是相同的, 而对不同材料所得布氏硬度值是可以进行相互比较的。

国标规定, F/D^2 的比值 K 为 30、15、10、5、2.5 和 1.25 等。在实验时, 根据金属材料种类和试件硬度范围, 从表 0-2 中选定 K 值。

表 0-2 布氏硬度试验规范

材 料	布氏硬度	K
钢及铸铁	<140	10
	≥ 140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5 (1.25)
	35~80	10 (5 或 15)
	>130	10 (15)
铅、锡		1.25 (1)

注: 当有关标准没有明确规定时, 应使用无括号的 K 值。

钢球 (或硬质合金球) 直径 D (mm), 有 10、5、2.5、2 及 1 等五种, 试验时可根据试件尺寸适当选择。当试验条件允许时, 应尽量选用 10mm 球体, 以便于测量及测值的准确。

当球体直径 D 的大小及 F/D^2 的比值 K 确定后, 负荷 F 即可确定。国标规定负荷保持时间黑色金属为 10~15s; 有色金属为 30±2s; 布氏硬度值小于 35 时为 60±2s。

2. 布氏硬度值表示方法

压头为钢球时用符号 HBS 表示 (适用于 HBS<450 材料); 压头为硬质合金球时用符号 HBW 表示 (适用于 HBW<650 的材料), 符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值, 符号后面的数值依次表示试验条件: 球体直径、负荷、负荷保持时间 (10~15s 不标注)。例如: 120HBS 10/1000/30 表示用直径 10mm 钢球在 1000kgf (9.807KN) 负荷作用下保持 30s 测得布氏硬度值为 120; 500HBW5/750 表示用直径 5mm 硬质合金球在 750kgf (7.355KN) 负荷作用下保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500。习惯上布氏硬度值的单位不予标出。

3. 布氏硬度测定的技术要求

(1) 试样的试验表面必须是光滑平面, 不应有氧化皮及外来污物, 以保证压痕直径能精确地测量。

(2) 试样厚度应大于压痕深度的 10 倍。试验后, 试样支撑面应无可见变形痕迹。

(3) 压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍, 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍。布氏硬度值小于 35 时, 上述距离应分别为压痕平均直径的 3 倍和 6 倍。

(4) 试验后, 压痕直径应在 $0.24 \sim 0.6D$ 之间。

(5) 压痕直径 d 用读数显微镜测量时, 应从相互垂直的两个方向进行, 取其算术平均值。两个方向上测量的差不应大于其中较小直径的 2%。

4. 布氏硬度计的构造和操作

常见的布氏硬度计有液压式和机械式两大类, 图 0-8 为 HB—3000 型机械式硬度计。

(1) 主要部件及作用

1) 机体与工作台升降机构。机体为一坚固的悬臂式铸铁壳体。工作台升降机构装在机体前面突出的座子上, 其机构主要由手轮 7、丝杠 6、立柱 5 与工作台 4 等主要部件组成, 通过转动手轮可使工作台上、下移动。

2) 杠杆机构。杠杆机构主要由大杠杆 16、小杠杆 1 及砝码吊架 15 等组成, 总杠杆比为 1:50, 杠杆系统通过电动机 9 可将负荷自动施加在试样上。

3) 压轴部分。压轴 2 是由弹簧、压轴、主轴衬套等零件组成, 用以保证试样与压头 3 中心对准。

4) 减速器部分。减速器 10 由两级蜗轮机构组成, 总传动比为 1:1600。减速器用来带动升降机构 (曲柄及曲柄连杆) 13, 在电动机正转、反转时, 起施加和卸除负荷的作用。

5) 换向开关。换向开关 12 是控制电动机回转方向的装置, 使加、卸负荷自动进行。

(2) 操作前的准备工作 根据试样材料种类及其布氏硬度值范围, 按照表 0-1 确定 F/D^2 值, 选择合适的压头, 并确定负荷及负荷保持时间。

1) 将选好的压头擦拭干净后装入主轴衬套。

2) 安装工作台。若试样高度大于 120mm, 可将立柱取下, 工作台直接安装在丝杆顶端。

3) 按选定的负荷大小, 加上相应的砝码 14。

4) 调整负荷保持时间。松开时间定位器上的调时手轮 11, 将圆盘上红色指示点调节到与负荷保持时间相符的位置上。

5) 打开电源开关, 指示灯燃亮, 表明通电正常。

(3) 操作程序

1) 首先将试样放在工作台上, 使测试面与压头轴线垂直, 然后选好测试位置, 再顺时针转动手轮, 使压头逐渐压向试样表面, 直至手轮打滑, 工作台不再上升时为止。

2) 按动按钮开关 8, 启动电动机开始施加负荷。当加荷指示灯燃亮的同时, 迅速拧紧调

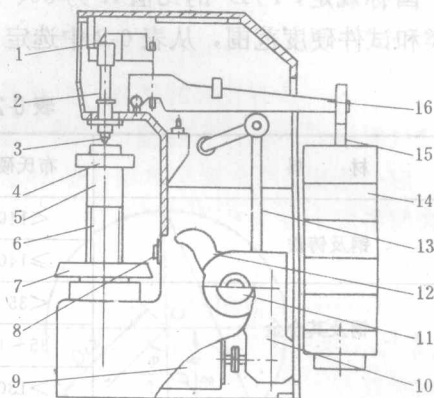


图 0-8 布氏硬度计结构图

- 1—小杠杆 2—压轴 3—压头 4—工作台
5—立柱 6—丝杠 7—手轮 8—按钮开关
9—电动机 10—减速器 11—调时手轮
12—换向开关 13—升降机构 14—砝码
15—砝码吊架 16—大杠杆