



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

材料科学与工程 实验指导书

李维娟 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

材料科学与工程 实验指导书

李维娟 主编

北 京

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书内容分为金相组织分析、金属热处理与表面处理和材料性能测试与分析三个部分。金相组织分析部分主要介绍了金相样品制备及金相显微镜使用,碳钢、合金钢、铸铁、有色金属和典型缺陷的显微组织与分析;金属热处理与表面处理部分主要介绍了钢的整体热处理、淬透性、化学热处理、激光表面热处理和磁控溅射处理等;材料性能测试与分析部分主要介绍了金属的力学性能、物理性能、化学性能和相变点的测试,材料的相、组织、结构和缺陷分析等。

本书通用性和应用性强,适合作为高等学校材料类专业的实验教材,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料科学与工程实验指导书/李维娟主编. —北京:冶金工业出版社, 2016. 3

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7196-5

I. ①材… II. ①李… III. ①材料科学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TB3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 046997 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 王雪涛 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7196-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2016 年 3 月第 1 版, 2016 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10.25 印张; 247 千字; 157 页

20.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

高等教育改革和发展的目标是提高人才培养质量,培养高素质的专门人才和拔尖创新人才。在创新型人才培养中,实验教学尤为重要。通过实验教学,可培养大学生的理论联系实际能力、实践创新能力和团结协作能力等。本书是在校内实验讲义的基础上,结合材料科学与工程学科的新发展,以及实验设备与技术的更新提高,拓展和完善编写而成的。以期全面提高大学生的实验技能和创新能力。

本书分为金相组织分析、金属热处理与表面处理和材料性能测试与分析三个部分。书中内容的安排打破了课程的限制,从专业实验技能类别角度进行编排,可作为材料科学与工程专业大学生的实验教材,建议学时 130 左右,分三或四个学期完成。本书也可作为金属材料工程专业学生的实验参考书,选做其中大部分实验。

本书中的实验 1、2、4、5、8、9 由刘英义编写,实验 3、10、11 由朱晶编写,实验 6、7、13、23、27、28 由刘瑜编写,实验 12、36 由李维娟编写,实验 14、29、30 由张峻巍编写,实验 15、24、34 由周艳文编写,实验 16~22、25、26 由赵鹏编写,实验 31、32 由吕楠编写,实验 33 由赵南嵘编写,实验 35 由郭媛媛编写。全书由李维娟统稿。

在编写过程中,参考了大量相关文献,谨此对有关作者表示衷心感谢。参考文献中列举了一些主要书目,其他未列出者敬请海涵。

由于编者水平有限,书中不妥之处,敬请广大师生和读者批评指正。

作 者

2015 年 11 月

于辽宁科技大学

目 录

第 1 部分 金相组织分析

实验 1 金相样品制备及金相显微镜使用	1
实验 2 铁碳合金平衡组织观察与分析	8
实验 3 金属的塑性变形与再结晶	11
实验 4 奥氏体晶粒度的测定	14
实验 5 合金钢的显微组织观察与分析	17
实验 6 钢中典型缺陷组织的分析与评定	22
实验 7 钢中非金属夹杂物的金相鉴定	27
实验 8 铸铁的显微组织观察与分析	31
实验 9 有色金属的显微组织观察与分析	35

第 2 部分 金属热处理与表面处理

实验 10 碳钢热处理及组织性能分析	39
实验 11 钢的淬透性测定	43
实验 12 汽车用钢的热处理及组织性能分析	46
实验 13 钢的化学热处理及渗层组织分析	49
实验 14 激光表面淬火及组织性能分析	54
实验 15 磁控溅射及其应用	56

第 3 部分 材料性能测试与分析

实验 16 金属的硬度实验	59
实验 17 金属的拉伸实验	67
实验 18 金属的冲击韧性实验	70
实验 19 金属断裂韧性实验	73
实验 20 金属疲劳实验	76
实验 21 金属磨损实验	81
实验 22 金属蠕变实验	86
实验 23 热处理工艺对合金电阻的影响	89
实验 24 霍尔效应在电学性能上的应用	92

实验 25	奥氏体不锈钢晶间腐蚀实验	95
实验 26	应力腐蚀实验	99
实验 27	差热分析法测定合金的相变点	102
实验 28	磁性法测定淬火钢中残余奥氏体含量	105
实验 29	X 射线衍射仪与物相定性分析	108
实验 30	X 射线衍射仪测定淬火钢中残余奥氏体含量	111
实验 31	扫描电子显微镜的基本结构与图像衬度观察	117
实验 32	扫描电子显微镜的能谱与微取向原理及应用	120
实验 33	透射电镜工作原理及样品制备	123
实验 34	原子力显微镜及其应用	127
实验 35	超声波测试试件内部缺陷	131
实验 36	内耗测量及在时效研究中的应用	135
附 录		
附录 1	钢材缺陷组织标准评级图	145
附录 2	硬度测量对照表	153
附录 3	粉末法的多重性因数 P_{hkl}	156
参考文献		157

第 1 部分

金相组织分析

实验 1 金相样品制备及金相显微镜使用

1.1 实验目的

- (1) 掌握金相样品的制备过程和基本方法。
- (2) 了解金相显微镜的基本原理、构造，掌握显微镜的正确使用。

1.2 实验原理

利用金相显微镜观察金相试样的组织或缺陷的方法称为金相显微分析。它是研究金属材料微观组织最基本的一种实验技术，在金属材料研究领域中占有很重要的地位。在金相显微分析中，使用的主要仪器是光学显微镜。

1.2.1 金相试样制备

金相试样的制备包括取样、磨制、抛光和浸蚀等步骤。

1.2.1.1 取样

试样的选取应根据被检验材料或零件的特点，取其有代表性的部位。例如研究零件的失效原因时，应在失效部位取样，并在完好部位取样，以便对比分析。对于铸造合金，考虑到组织的不均匀性，应从表层到中心各个部位进行选取。对于轧材，研究表层缺陷和夹杂物的分布时应横向取样；研究夹杂物类型、形状、变形程度、带状组织时应纵向取样。对一般热处理后的零件，由于组织均匀，可任意取样。取样时应保证试样观察面不发生组织变化，软材料取样可用锯、刨、车等方法，硬材料取样可用砂轮切片机等方法，脆性材料可用锤击等方法。试样尺寸不宜过大或过小，一般以手拿方便即可，其形状以便于观察为宜。

1.2.1.2 磨制

粗磨：粗磨目的是为了获得一个平整的表面，软材料试样可用锉刀锉平，钢铁材料可用砂轮机磨平。磨削时应注意试样对砂轮的壓力不宜过大，以免在试样表面上形成较深的

磨痕而增加细磨的困难,同时应不断用水冷却试样,以免试样受热引起组织变化。试样边缘要进行倒角,以免在细磨和抛光时划破砂纸和抛光绒布或造成试样从抛光机上飞出伤人。

细磨:细磨分手工磨光和机械磨光两种。

手工磨光是用手拿住试样在金相砂纸上进行。金相砂纸按粗细分为01、02、03、04、05号。细磨时依次从01号磨到05号,钢铁材料一般磨到04号即可,软材料(如铝、镁等合金)可磨到05号砂纸。细磨时必须注意:

(1) 细磨时应将砂纸放在光滑平整物体(如玻璃板)上,手指拿住试样,并使磨面朝下,均匀用力由后向前推行磨削。在回程时,提起试样,试样不与砂纸接触以保证磨面平整而不产生弧度。

(2) 每换一号砂纸时,应将试样旋转 90° 后再磨,使磨削方向与前道磨痕方向垂直,以便观察前道磨痕是否全部消除。

(3) 每更换一次砂纸之前,应把试样、玻璃和手洗净,以免把粗砂粒带到下一号细砂纸上去。

另外,磨削软材料时,可在砂纸上涂一层润滑剂,如机油、甘油、肥皂水等,以免砂粒嵌入试样磨面。

机械磨光是在预磨机上进行。预磨机是由电动机带动转盘,转盘分为蜡盘和砂纸盘两种。蜡盘就是把混有金刚砂的熔化石蜡浇在转盘上,待凝固车平后装在预磨机上就可使用。做成不同粗细的金刚砂蜡盘,在生产检验中被大量使用。砂纸盘是把水砂纸剪成圆形,用水玻璃粘在预磨机转盘上。水砂纸按粗细分为200、300、400、500、600、700、800、900号等,一般用200、400、600、800号水砂纸依次磨制即可。用蜡盘和水砂纸盘磨制时,要不断加水冷却。

1.2.1.3 抛光

抛光分为机械抛光、电解抛光、化学抛光等方法,使用最广的是机械抛光。机械抛光是在抛光机上进行。抛光机由电动机带动抛光盘,抛光盘上铺有不同的抛光布。粗抛时用帆布或粗呢,细抛时用绒布、细呢或丝绸等。抛光过程中要不断向抛光布上倒入适量的水与 Cr_2O_3 (或 Al_2O_3 、 MgO 等)悬浮液。试样的磨面应平正地压在旋转的抛光盘上,压力不宜过大,并使试样从抛光盘边缘到中心不断地做径向往复移动。待试样表面磨痕全部被抛掉而呈现光亮镜面时,抛光即可停止,并将试样用水或酒精洗干净后转入浸蚀。

1.2.1.4 浸蚀

经抛光后的试样若直接放在显微镜下观察,只能看到一片亮光,除非某些金属夹杂物(如 MnS 及石墨等)外,不能辨别出各种组织及其形态,因此,必须用浸蚀剂对试样抛光面进行浸蚀,钢铁材料通常用3%~5%硝酸酒精溶液浸蚀。浸蚀方法是待观察面浸入浸蚀剂中,或用玻璃棒蘸少许脱脂棉蘸取浸蚀剂擦拭的方法。浸蚀时间要适当,当试样抛光亮面呈灰色时就可停止,并立即用清水或酒精清除残酸,用吹风机吹干后,即可在显微镜下进行观察。若试样浸蚀过度,显微组织模糊不清时,需重新抛光和浸蚀。若浸蚀不足,组织不能完全显露时,可进行补充浸蚀。常见的化学浸蚀剂见表1-1。

表 1-1 常见的化学浸蚀剂

浸蚀剂名称	成 分	适用范围	使用要点
硝酸酒精溶液	硝 酸 1 ~ 5mL、酒精 100mL	碳钢及低合金钢组织	硝酸含量按材料选择，浸蚀数秒钟
苦味酸酒精溶液	苦 味 酸 2 ~ 10g、酒精 100mL	对钢铁材料的细密组织清晰	浸蚀时间自数秒钟至数分钟
苦味酸盐酸酒精溶液	苦 味 酸 1 ~ 5g、盐酸 5mL、酒精 100mL	淬火及淬火回火后钢的晶粒和组织	浸蚀时间较上例快些，约为数秒钟至 1min
苛性钠苦味酸水溶液	苛性钠 25g、苦味酸 2g、水 100g	钢中的渗碳体染成暗黑色，铁素体不染色	加热煮沸浸蚀 5~30min
氯化铁盐酸水溶液	氯化铁 5g、盐酸 50g、水 100g	不锈钢、奥氏体高镍钢、铜及铜合金组织	浸蚀至显示组织
王水甘油溶液	硝酸 10mL、盐酸 20~30mL、甘油 30mL	奥氏体镍铬合金等组织	先用盐酸与甘油充分混合，然后加入硝酸。浸蚀前先用热水预热
氨水双氧水溶液	氨水（饱和）50mL、3%双氧水溶液 50mL	铜及铜合金组织	配好后马上使用，用棉花蘸擦
氯化铜氨水溶液	氯化铜 8g、氨水（饱和）100mL	铜及铜合金组织	浸蚀 30~50s
混合酸	氢氟酸（浓）1mL、盐酸 1.5mL、硝酸 2.5mL、水 95mL	硬铝组织	浸蚀 10~20s 或用棉花蘸擦
氢氟酸水溶液	氢 氟 酸（浓）0.5mL、水 99.5mL	一般铝合金组织	用棉花擦拭
苛性钠水溶液	苛性钠 1g、水 90mL	铝及铝合金组织	浸蚀数秒钟

1.2.2 金相显微镜的光学原理与构造

1.2.2.1 金相显微镜的光学原理

最简单的显微镜可以仅由两个透镜组成。图 1-1 为金相显微镜成像的光学原理示意图。图中 AB 为被观察的物体，对着被观察物体的透镜 O_1 称为物镜；对着人眼的透镜 O_2 称为目镜。物镜使物体 AB 形成放大的倒立实像 A'B'，目镜再将 A'B' 放大成仍然倒立的虚像 A''B''。其位置正好在人眼的明视距离（约 250mm）处。在显微镜中所观察的就是这个虚像 A''B''。

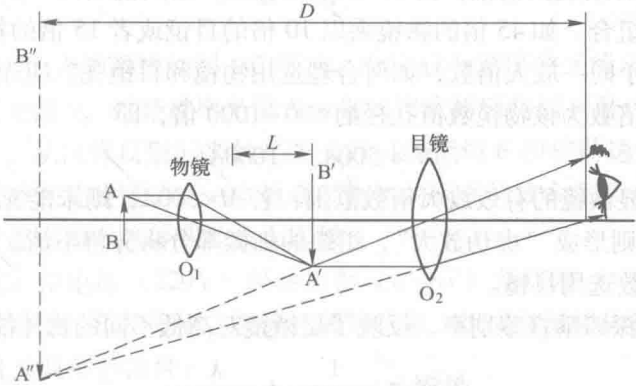


图 1-1 成像光学原理

(1) 显微镜的放大倍数。

放大倍数由下式确定：

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

式中 M ——显微镜总放大倍数；

$M_{\text{物}}$ ——物镜的放大倍数；

$M_{\text{目}}$ ——目镜的放大倍数；

$f_{\text{物}}$ ——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 (250mm)。

由上式可知, $f_{\text{物}}$ 、 $f_{\text{目}}$ 越短或 L 越长, 则显微镜的放大倍数越大。

(2) 物镜的鉴别率。物镜的鉴别率是指物镜能清晰分辨试样两点间最小距离的能力。

物镜鉴别率的数学公式为：

$$d = \frac{\lambda}{2A} \quad (1-2)$$

式中 d ——物镜的鉴别率；

λ ——入射光源的波长；

A ——物镜的数值孔径, 它表示物镜的聚光能力。

由公式 (1-2) 可知, 波长 λ 越短, 数值孔径 A 越大, 则鉴别能力就越高 (d 越小), 在显微镜中就能看到更细微的部分。数值孔径 A 可由下列公式求出：

$$A = \eta \sin \varphi \quad (1-3)$$

式中 η ——物镜与物体之间介质的折射率；

φ ——物镜孔径角的一半, 即通过物镜边缘的光线与物镜轴线所成的角度。

η 越大或物镜孔径角越大, 则数值孔径越大。由于 φ 总是小于 90° , 所以在空气介质 ($\eta=1$) 中使用时, 数值孔径 A 一定小于 1, 这类物镜称为干系物镜。当物镜上面滴有松柏油介质 ($\eta=1.52$) 时, A 值最高可达 1.4, 这就是显微镜在高倍观察时用的油浸系物镜, 每个物镜都有一个设计额定的 A 值, 刻在物镜体上。

(3) 显微镜的有效放大倍数。由 $M=M_{\text{目}} \times M_{\text{物}}$ 知, 显微镜的同一放大倍数可由不同倍数的物镜和目镜来组合。如 45 倍的物镜乘以 10 倍的目镜或者 15 倍的物镜乘以 30 倍的目镜都是 450 倍。对于同一放大倍数, 如何合理选用物镜和目镜呢? 应先选物镜, 一般原则是使显微镜的放大倍数为该物镜数值孔径的 500~1000 倍, 即

$$M = 500A \sim 1000A \quad (1-4)$$

这个范围称为显微镜的有效放大倍数范围, 若 $M < 500A$, 则未能充分发挥物镜的鉴别率; 若 $M > 1000A$, 则形成“虚伪放大”, 组织的细微部分将分辨不清。待物镜选定后, 再根据所需的放大倍数选用目镜。

(4) 景深。景深即垂直鉴别率, 反映了显微镜对高低不同的物体能清晰成像的能力。

$$\text{景深} = \frac{1}{7M \sin R} + \frac{\lambda}{2n \sin R} \quad (1-5)$$

式中 M ——放大倍数;

R ——半孔径角;

λ ——波长;

n ——介质折射率。

由式 (1-5) 可知, n 、 R 越大, 景深越小; 物距增加, 景深增加。在进行断口分析时, 为获得清晰的断口凹凸图像, 景深不能太小。

(5) 透镜的几何缺陷。单色光通过透镜后, 由于透镜表面呈球形, 光线不能交于一点, 则放大后的像模糊不清, 此现象称球面像差。

多色光通过透镜后, 由于折射率不同, 光线不能交于一点, 也会造成模糊图像, 此现象称色像差。

减小球面像差的办法: 可通过制造物镜时采用不同透镜组合进行校正; 调整孔径光阑, 适当控制入射光束等办法降低球面像差。

减小色像差办法: 可通过物镜进行校正或采用滤色片获得单色光的办法降低色像差。

1.2.2.2 金相显微镜的构造

图 1-2 所示为不同形式的金相显微镜的基本构造及光学行程。

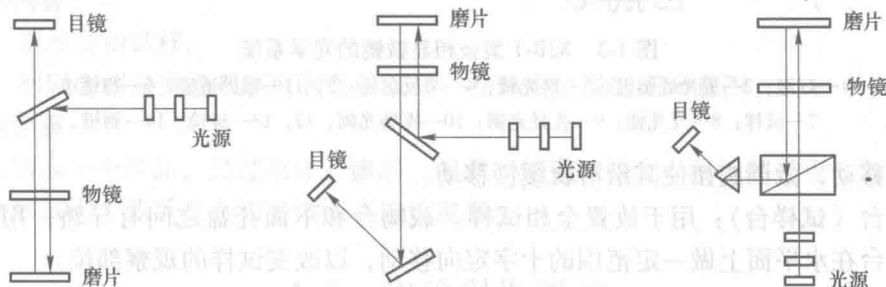


图 1-2 金相显微镜的基本构造及光学行程

金相显微镜分为台式、立式及卧式三种类型, 各种类型又有许多不同的型号。虽然显微镜的型号很多, 但基本构造大致相同, 现以 XJB-1 型金相显微镜为例介绍显微镜的构造。

金相显微镜通常由光学系统、照明系统和机械系统三大部分组成, 有的显微镜还附有摄影装置。

XJB-1 型显微镜的光学系统如图 1-3 所示。由灯泡 1 发出的光线经聚光透镜组 2 及反光镜 8 聚集到孔径光阑 9, 再经过聚光镜 3 聚集到物镜的后焦面, 最后通过物镜平行照射到试样 7 的表面上, 从试样反射回来的光线又经过物镜组 6 和辅助透镜 5, 由半反射镜 4 转向, 经过辅助透镜以及棱镜造成一个被观察物体的倒立的放大实像, 该像再经过目镜的放大, 就成为在目镜视场中能看到的放大影像。

(1) 照明系统: 由电源 (220V) 经变压器 (6~8V) 使灯泡 (6~8V、15W) 发光作为光源。光源与聚光镜、孔径光阑、视场光阑等装置, 组成显微镜的照明系统。

(2) 机械系统及其他各部件:

调焦装置: 在显微镜体两侧有粗调和微调旋钮。随粗调旋钮的传动, 支撑载物台的弯

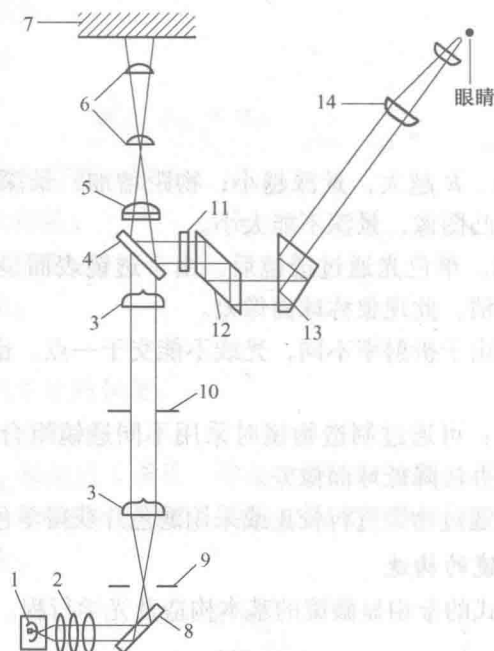


图 1-3 XJB-1 型金相显微镜的光学系统

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

臂做上下移动，微调旋钮使其沿滑轨缓慢移动。

载物台（试样台）：用于放置金相试样。载物台和下面托盘之间有导轨，用手推动，可使载物台在水平面上做一定范围的十字定向移动，以改变试样的观察部位。

孔径光阑：它可控制入射光束的粗细，以保证物像达到清晰的程度。

视场光阑：它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，用来调整光阑中心。

1.2.2.3 金相显微镜的使用规程及注意事项

金相显微镜是贵重精密光学仪器，使用时要细心谨慎。使用前应先了解显微镜的基本原理、构造及各主要部件的位置和作用，然后再按照使用规程和应注意事项进行操作。

A 显微镜的使用规程

- (1) 先将显微镜的插头插在低压（6~8V）变压器上，通过变压器接通电源。
- (2) 根据放大倍数选用所需物镜和目镜，分别安装在物镜座及目镜筒上。
- (3) 将试样放在载物台中心，并使观察面朝向物镜。
- (4) 用双手旋转粗调旋钮，将载物台降下，使样品靠近物镜，但不接触，然后边观察目镜边用双手旋转粗调旋钮，使载物台慢慢上升，待看到组织时，再旋转微调旋钮，直至图像清晰为止。

B 使用注意事项

- (1) 操作时要细心，动作要轻微。
- (2) 光学系统等重要部件不得自行拆卸。

- (3) 使用时如出现故障,应及时报告指导教师进行处理。
- (4) 显微镜各种镜头严禁用手指触摸或用手帕等擦拭,擦拭镜头需用镜头纸。
- (5) 显微镜的灯泡电压为6~8V,严禁直接插在220V的电源插座上。
- (6) 在旋转聚焦旋钮时,动作要慢,碰到阻碍时立即停止操作,并报告指导教师进行处理。
- (7) 使用完毕,关闭电源,将显微镜恢复到使用前状态,经指导老师检查无误后方可离开实验室。

1.3 实验设备与材料

实验设备: 金相显微镜。

实验材料: 实验样品、金相砂纸、抛光布、抛光膏、脱脂棉、浸蚀剂和竹夹子等。

1.4 实验内容及步骤

实验内容: 金相样品的制备及金相显微镜的使用。

- (1) 制备金相试样。
- (2) 利用金相显微镜观察所制备的试样,并画出显微组织示意图。

实验步骤:

每人领取一个样品,经过取样、镶嵌、粗磨、细磨、抛光、浸蚀等过程,制备出一个标准的金相试样,然后在金相显微镜下进行观察。

1.5 实验报告要求

- (1) 简述实验目的、实验原理和实验方法。
- (2) 如实记录实验结果,并对实验结果进行分析与讨论。

思考题

- (1) 影响金相样品质量的主要因素有哪些?
- (2) 何为数值孔径,它与显微镜的放大倍数有什么关系?

实验2 铁碳合金平衡组织观察与分析

2.1 实验目的

- (1) 观察和识别铁碳合金在平衡状态下的显微组织。
- (2) 掌握碳含量对铁碳合金平衡组织的影响。
- (3) 根据平衡组织, 应用杠杆定律, 估算碳钢的碳含量。

2.2 实验原理

铁碳合金平衡组织指的是在非常缓慢的冷却条件下完成转变所获得的显微组织。在实验条件下, 可以将碳钢退火状态下的组织作为钢的平衡组织。铁碳合金平衡组织相图如图 2-1 所示。

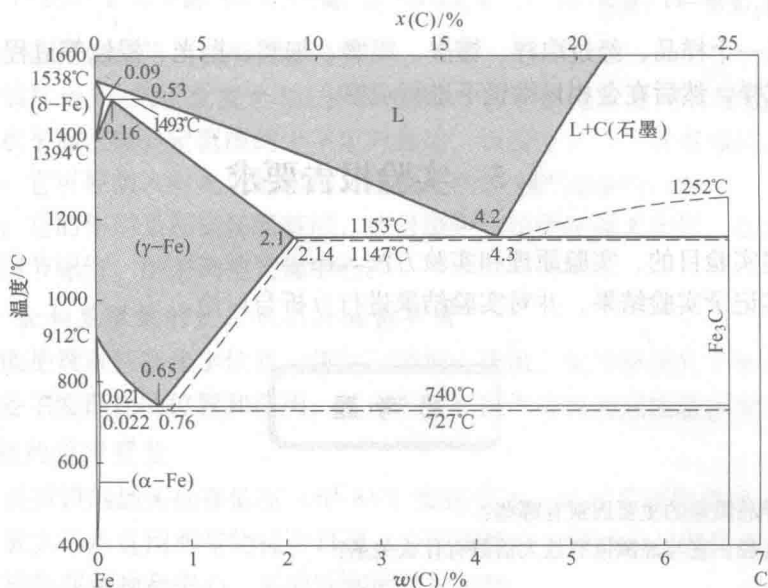


图 2-1 铁碳合金平衡组织相图

2.2.1 铁碳合金的各种基本组织特征

铁碳合金的基本相或组织有铁素体、渗碳体、珠光体和莱氏体。显微组织特征如下：
铁素体：碳溶入 α -Fe 中所形成的间隙固溶体，呈白色块状。

渗碳体：铁和碳所形成的间隙化合物，因抗蚀能力很强，故是白亮的。一次渗碳体呈板状，分布在莱氏体之间；二次渗碳体是从奥氏体中析出的，呈网状分布在珠光体的边界上；三次渗碳体分布在铁素体的边界上，量少极分散，一般看不到。

珠光体：由铁素体和渗碳体所组成的机械混合物，铁素体和渗碳体都呈片层状相间分布。因铁素体和渗碳体边界易腐蚀，故显微镜下看到的是较密的黑条，若放大倍率较低，条间分不清楚，珠光体是黑色的块状。

低温莱氏体：由共晶相变产物莱氏体转变而来，其中的奥氏体室温下转变为珠光体。其特征是黑色棒状或条纹状的珠光体分布在白亮的渗碳体基体上。

各种铁碳合金在室温下的平衡组织见表 2-1。

表 2-1 各种铁碳合金在室温下的显微组织

合金分类		碳含量/%	显微组织
工业纯铁		低于 0.0218	铁素体 (F)
碳 钢	亚共析钢	0.0218~0.77	F+珠光体 (P)
	共析钢	0.77	P
	过共析钢	0.77~2.11	P+二次渗碳体 (C_{II})
白口铸铁	亚共晶白口铸铁	2.11~4.3	P+ C_{II} +莱氏体 (Le')
	共晶白口铸铁	4.3	Le'
	过共晶白口铸铁	4.3~6.69	Le' +一次渗碳体 (C_I)

2.2.2 碳钢碳含量的估算

2.2.2.1 亚共析钢

亚共析钢是指碳含量在 0.02%~0.77% 之间的铁碳合金。亚共析钢的显微组织是由先共析铁素体（呈亮白块状）与珠光体（呈暗黑色）组成。随着碳含量增加，组织中铁素体量逐渐减少，而珠光体量不断增加。当碳含量大于 0.6% 时，铁素体由块状变成网状分布在珠光体周围。

根据亚共析钢的平衡组织，可用下式估算碳的质量分数：

$$w(C) = K \times 0.77 \quad (2-1)$$

式中 $w(C)$ ——钢中碳的质量分数，%；

K ——显微组织中珠光体占视域面积的百分数，%；

0.77——珠光体中碳的质量分数，%。

2.2.2.2 过共析钢

过共析钢是指碳含量在 0.77%~2.11% 之间的铁碳合金。过共析钢的显微组织是由珠光体和二次渗碳体组成。随着碳含量增加，二次渗碳体量增多。经 4% 硝酸酒精浸蚀后，二次渗碳体呈亮白色网状分布在珠光体周围。若经苦味酸钠溶液煮沸浸蚀后，则二次渗碳体呈黑褐色，铁素体网仍呈白亮色。在显微分析中，常用此法来区分铁素体网和渗碳体网。

若在显微镜下观察到二次渗碳体和珠光体所占的相对面积，根据杠杆定律，可估算钢

的碳含量。

例如,二次渗碳体所占相对面积为3.9%,则

$$(X - 0.77)/(6.69 - 0.77) = 3.9\% \quad (2-2)$$

式中 X ——对应钢中的碳含量。

2.3 实验设备与材料

实验设备:金相显微镜。

实验材料:工业纯铁、亚共析钢、共析钢、过共析钢、亚共晶白口铸铁、共晶白口铸铁和过共晶白口铸铁的平衡态标准试样;退火态的20钢、45钢、T10、T12试样。

2.4 实验内容及步骤

实验内容:

- (1) 观察工业纯铁、亚共析钢、共析钢、过共析钢、亚共晶白口铸铁、共晶白口铸铁和过共晶白口铸铁的平衡组织,画出各平衡组织示意图,标明各组织组成物的名称。
- (2) 根据给定试样的平衡组织,判断合金的种类,即属于哪一类铁碳合金。
- (3) 根据给定钢的平衡组织,估算钢中的碳含量。

实验步骤:

- (1) 根据铁碳合金平衡相图,掌握七种典型铁碳合金的平衡结晶过程,明确室温下的显微组织。
- (2) 在显微镜下观察七种典型合金的室温平衡组织,识别各铁碳合金的组成相与组织形态。
- (3) 根据试样的组织组成物,判断合金的种类。
- (4) 利用杠杆定律,估算钢中的碳含量。

2.5 实验报告要求

- (1) 简述实验目的、实验原理和实验方法。
- (2) 如实记录实验结果,并对实验结果进行分析与讨论。

思考题

- (1) 讨论铁碳合金碳含量与显微组织的关系。
- (2) 珠光体组织在低倍观察和高倍观察时有何不同,为什么?
- (3) 怎样鉴别0.6%C钢的网状铁素体和1.2%C钢的网状渗碳体?
- (4) 渗碳体有几种,它们的形态有什么区别?

实验3 金属的塑性变形与再结晶

3.1 实验目的

- (1) 分析金属经过冷塑性变形后显微组织及力学性能的变化。
- (2) 掌握变形度与加热温度对再结晶后晶粒大小的影响。

3.2 实验原理

金属经过冷变形后,产生大量晶体结构缺陷,这些缺陷阻碍了变形的进一步发展,在性能上产生加工硬化现象,在显微组织上,则产生晶粒形状上的改变和出现滑移带。

3.2.1 冷变形后金属的显微组织与力学性能

冷加工变形后,晶粒的大小、形状及分布都会发生改变。晶粒沿外力方向被拉长(或被缩短),当变形度很大时晶界已不明显,分辨不出晶粒形状,看到的只是纤维状组织。

在变形过程中,由于滑移带的转动及晶粒的破碎,晶格弯曲和冷变形使得位错密度增加,造成临界切应力提高,继续变形发生困难即产生所谓的加工硬化现象。

3.2.2 冷加工变形后金属再加热时的变化

金属经过冷塑性变形以后其金相组织处于不稳定状态,因而在随后的加热升温过程中,会出现回复、再结晶及晶粒长大三个过程。再结晶退火后金属发生软化,即加工硬化被消除。再结晶后金属的力学性能取决于晶粒大小,而晶粒大小则受预先冷变形度和再结晶温度的控制。

变形度对再结晶后晶粒长大的影响特别显著。金属存在一个能进行再结晶的最小变形度,此时会得到过大的晶粒,该变形度称为临界变形度(铝大约3%)。当超过临界变形度时,金属的变形度越大,再结晶后的晶粒越小,而变形度超过80%后晶粒又变大。

当变形度一定时,加热温度越高,再结晶进行得越快,再结晶后形成的新晶粒也越大。

3.3 实验设备与材料

实验设备:箱式电阻炉、切板机、万能拉伸机。

实验材料:纯铝片、浓硝酸、浓盐酸、量杯、竹夹子。