

高等学校实验教材

材料科学与工程

课程实验及探索研究性实验

主编 向定汉 / 副主编 刘贵仲 / 参编 邹勇进 陈国华 戴培邦

清华大学出版社

材料科学与工程

课程实验及探索研究性实验

主编 向定汉 / 副主编 刘贵仲 / 参编 邹勇进 陈国华 戴培邦



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书为高等学校实验用教材,主要以材料科学与工程专业的主干课程——材料科学基础、金属材料学、材料力学性能、金属热处理、金属腐蚀、材料近代分析测试方法、材料制备技术等为基础,使学生在完成专业基础课、专业课后,在实验技能方面得到进一步的培养与训练。

本书主要内容包括材料的熔炼、制备,材料的力学性能和化学性能,材料微观组织结构表征的基础实验,以及一定数量的探索研究性实验。本书绝大部分实验的内容主要包括实验目的、实验设备及材料、实验原理、实验方法及步骤、实验报告要求等,旨在为学生和指导教师提供尽可能系统的实验指导。其中部分实验还列举了与该实验内容相关的资料和数据。

本书可作为高等院校材料科学与工程、材料成型与控制、机械制造等专业的本科实验教学用书,也可作为研究生进行科学研究的实验手册,还可作为相关专业技术人员的参考书或培训教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料科学与工程课程实验及探索研究性实验/向定汉主编. —北京:清华大学出版社,2013

ISBN 978-7-302-31337-3

I. ①材… II. ①向… III. ①材料科学—材料试验—研究 IV. ①TB302

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第012429号

责任编辑:孙 坚 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:赵丽敏

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:9.25

字 数:220千字

版 次:2013年6月第1版

印 次:2013年6月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:22.00元

产品编号:049583-01

前 言

材料科学与工程专业实验教学可以帮助学生进一步巩固和运用所学的专业基础理论知识,掌握材料制备与性能测试的基本技能,培养和提高学生的实践动手能力、创新思维能力和综合素质,为以后正确研发材料、制造生产材料和合理应用材料打好基础。

材料科学与工程专业课程实验课是高等学校材料科学与工程专业的一门独立的课程,它在材料的研究和生产实践中起着重要的作用。材料科学与工程理论研究的发展、生产工艺的改进、产品质量的提高和新品种的开发,都与无机材料科学与工程的专业实验息息相关。因此,实验教学也是材料科学与工程专业重要的教学环节之一。为满足高等学校材料科学与工程专业实验教学需要,同时为了适应新时代发展的需要,培养出具有宽广扎实的专业基础和较强的知识能力的材料科学与工程技术人员,我们编写了这本《材料科学与工程课程实验及探索研究性实验》教材,以适应目前的教学要求。

在本教材的编写过程中,编者查阅参考了大量的文献资料,注意吸收国内外本学科专业的最新成果和国内有关的新标准、新规范的内容,听取了有关教师的建设性意见,使之更能适合目前宽口径专业的教学需要。在内容的选择上,以课程实验、综合实验和创新实验为主,指导学生自己进行实验方案设计,为学生较早参加科研和开展创新实验创造有利的条件,使学生对材料的科学研究工作有较完整和系统的认识。本书知识面广,能够满足材料科学与工程专业学生掌握全面系统的专业实验技能和实验课的教学要求,加强学生的动手能力与创新能力的训练,使学生具有一定思考能力、分析能力以及解决问题的能力,为学生的学习实践能力和将来就业打下扎实的基础,适应培养复合型人才的办学宗旨。

本书系统地介绍了材料科学与工程专业的基本性质及其典型性能的测量原理和实验方法,还介绍了现代材料结构分析的基本原理和实验方法。实验教材的主要内容包括课程实验、综合性实验和创新实验。

本书知识量大,专业面广,充分反映了桂林电子科技大学在该学科领域中的特色、专长和优势,适用于大专院校的本科生、专科生的实验教学,对研究生和从事材料科学与工程研究工作的技术人员也有一定的参考价值。

本书参考了许多兄弟院校的实验教材和有关著作,在此表示衷心的感谢。

参加编写的有向定汉(实验16~21、29、31~33、36~40),刘贵仲(实验1~7),邹勇进(实验13~15、23、24、26、30、34、41~43),陈国华(实验8~12),戴培邦(实验22、25、27、28、35)。

由于编者水平所限,书中难免存在纰漏、不当之处,欢迎读者批评指正,以便进一步订正和修改。

编 者

2013年1月

目 录

第 1 章 材料科学基础教学实验	1
实验 1 金相显微镜的原理、构造及使用	1
实验 2 金相试样的制备	6
实验 3 二元合金显微组织观察与分析	13
实验 4 铁碳合金平衡组织观察	16
实验 5 三元合金组织观察与分析	24
实验 6 结晶过程的观察	27
实验 7 冷变形强化及再结晶	29
第 2 章 金属热处理与金属腐蚀实验	33
2.1 金属热处理实验	33
实验 8 钢的奥氏体晶粒度的测定	33
实验 9 钢的淬透性测定	40
实验 10 钢的渗碳工艺与渗层组织观察	43
实验 11 碳钢的热处理及非平衡组织观察	46
实验 12 合金钢、铸铁、有色合金的显微组织观察	49
2.2 金属腐蚀实验	52
实验 13 线性极化法测定金属的腐蚀速度	52
实验 14 重量法测定金属的腐蚀速度	54
实验 15 极化曲线的测定与分析	57
第 3 章 材料的力学性能实验	60
实验 16 金属常温下拉伸性能的测定	60
实验 17 低碳钢和铸铁的压缩实验	65
实验 18 硬度实验	67
实验 19 弯曲冲击实验及韧脆转变温度测定	76
实验 20 断裂韧性 K_{IC} 测定实验	78
实验 21 摩擦、磨损实验	82
第 4 章 近代材料研究方法	86
实验 22 X 射线衍射仪的结构及衍射方法	86
实验 23 X 射线能量色散谱	92

实验 24	扫描电镜的结构及样品制备	93
实验 25	电子探针显微分析原理及方法	96
实验 26	透射电镜设备及样品分析	99
实验 27	傅里叶变换红外光谱仪的原理和应用	102
实验 28	热分析实验	105
第 5 章	材料综合性实验	108
实验 29	铸造铝合金的熔炼与铸造	108
实验 30	储氢合金的制备及性能分析	111
实验 31	不锈钢晶间腐蚀实验与分析	113
实验 32	工具钢热处理工艺对组织与性能的影响	116
实验 33	复合材料制备与性能综合实验	119
实验 34	相变温度和热焓的测定	122
实验 35	X 射线粉末衍射法物相定性分析	124
第 6 章	探索研究性实验	130
实验 36	45 钢的蒸汽氧化处理	130
实验 37	制定 20 钢表面处理实验研究方案,要求将耐蚀性提高 1 倍以上	131
实验 38	制定 20 钢表面处理实验研究方案,要求将耐磨性提高 1 倍以上	132
实验 39	制定 PTFE 复合增强实验研究方案,要求将耐磨性提高 50 倍以上	133
实验 40	制定 PP 复合材料阻燃实验研究方案,要求将氧指数提高 30 以上	134
实验 41	制定在钢材表面光亮化学镀镍实验方案,要求镀层表面达到 镜面光亮	136
实验 42	制定不锈钢钝化处理工艺实验方案,要求明显提高不锈钢的 抗腐蚀性	137
实验 43	制定环保型盐酸体系不锈钢缓蚀剂实验方案,要求明显降低 不锈钢腐蚀速率	138
参考文献		140

材料科学基础教学实验

实验 1 金相显微镜的原理、构造及使用

一、实验目的

1. 了解金相显微镜的成像原理、基本构造、各主要部件及元件的作用。
2. 学习和初步掌握金相显微镜的使用和维护方法。

二、实验仪器、设备

1. XJB—1 型正置式金相显微镜；
2. 预先准备好的金相样品。

三、实验原理

1. 金相显微镜的基本原理

显微镜的基本原理如图 1-1 所示,光学系统包括物镜、目镜及一些辅助光学零件。物镜和目镜分别由两组透镜组成。对着物体 AB 的一组透镜组成物镜 O_1 ,对着眼睛的一组透镜组成目镜 O_2 。物镜、目镜都各由复杂的透镜系统组成。

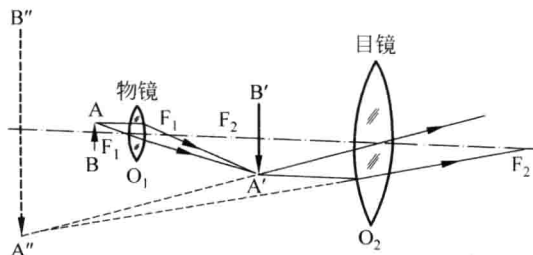


图 1-1 显微镜光学原理图

物镜使物体 AB 形成放大的倒立实像 $A'B'$,目镜再把 $A'B'$,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,即距人眼 250mm 处。我们在显微镜目镜中看到的就是这个虚像 $A''B''$ 。

显微镜的主要性能描述如下。

(1) 显微镜的放大倍数

显微镜的放大倍数可由下式决定:

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

式中: M 为显微镜的放大倍数; $M_{\text{目}}$ 为目镜的放大倍数; $M_{\text{物}}$ 为物镜的放大倍数; D 为明视距离, 250mm; $f_{\text{物}}$ 为目镜的焦距; $f_{\text{目}}$ 为物镜的焦距; L 为显微镜的光学镜筒长度。

$f_{\text{物}}$ 、 $f_{\text{目}}$ 越短或 L 越长, 显微镜的放大倍数越高。在使用时, 显微镜的放大倍数为物镜和目镜的放大倍数的乘积, 有的小型显微镜的放大倍数需要再乘一个镜筒系数, 因为它的镜筒长度比一般显微镜短。

(2) 显微镜的鉴别率

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。在普通光线下, 人眼能分辨两点间的最小距离为 0.15~0.30mm, 即人眼的鉴别率 d 为 0.15~0.30mm; 而当显微镜的有效放大倍数为 1400 倍时, 鉴别率 d 为 0.21×10^{-3} mm。 d 值越小, 鉴别率越高。鉴别率可由下式计算:

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

式中: λ 为入射光线的波长; A 为物镜的数值孔径。

显微镜的鉴别率取决于使用光线的波长和物镜的数值孔径, 与目镜没有关系。光源的波长可以通过滤色片来选择。蓝光的波长 ($\lambda = 0.44 \mu\text{m}$) 比黄绿光 ($\lambda = 0.55 \mu\text{m}$) 短, 所以蓝光的鉴别率比黄绿光大 25%, 当光源的波长一定时, 通过变化 A 来调节显微镜的鉴别率。

(3) 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。

$$\text{景深} = \frac{1}{7M \sin \theta} + \frac{1}{2n \sin \theta}$$

式中: M 为放大倍数; θ 为孔径角; n 为折射率。

放大倍数或数值孔径越大, 景深越小。在进行断口分析时, 若景深太小, 断口上凹凸不平的浮雕难以同时有清晰的图像。

(4) 物镜的数值孔径

数值孔径表示物镜的集光能力。

$$A = n \sin \Psi$$

式中: A 为物镜的数值孔径; n 为物镜与试样之间的介质的折射率; Ψ 为物镜孔径角的一半 (见图 1-2)。

n 越大或物镜孔径角越大, 数值孔径越大。由于 Ψ 总是小于 90° , 所以在空气介质 ($n=1$) 中使用时, 数值孔径 A 一定小于 1, 这类物镜称干系物镜。当物镜与试样之间充满松柏油介质 ($n=1.52$) 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 (简称为油镜头)。每个物镜都有一个设计额定的 A 值, 刻在物镜体上。

(5) 放大倍数、数值孔径、鉴别率之间的关系

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 10 倍的目镜或者 15 倍的物镜乘 30 倍的目镜都是 450 倍。对于同一放大倍数, 如何合理地选用物

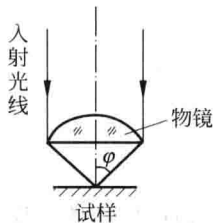


图 1-2 物镜的孔径角

镜和目镜呢? 首先确定物镜, 根据计算, 在选用物镜时, 必须使显微镜的放大倍数在该物镜数值孔径的 500~1000 倍之间, 即 $M=500\sim1000A$, 这个范围称有效放大倍数范围。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”, 细微部分将分辨不清。待物镜选定后, 再根据所需放大倍数选用目镜。

(6) 透镜成像缺陷

① 球面像差

当来自 A 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, 这使得放大后的像模糊不清, 此现象称为球面像差。

降低球面像差的办法, 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, 减少透镜表面面积的办法把球面像差降低到最低限度。

② 色像差

白色光是由七种单色光组成的, 当一束来自 A 的白色光通过透镜后, 由于各单色光的波长不同, 折射率不同, 使光线折射后不能交于一点。其中紫光折射最强, 红光折射最弱, 结果使得成像模糊不清, 此现象称为色像差。

消除色像差的办法, 一是制造物镜时进行校正, 根据校正程度, 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、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, 通常使用黄色或绿色滤色片。

2. 金相显微镜的构造

金相显微镜可分为台式、立式和卧式三种类型, 各种类型又有许多不同的型号, 虽然它们的型式极多, 但基本构造都是大致相同的。现以上海光学仪器厂制造的 XJB—I 型金相显微镜为例, 介绍金相显微镜的构造。

(1) 照明系统

如图 1-3 所示, 由灯泡发出的一束光线, 经聚光镜组→反光镜→孔径光栏→聚光镜组→物镜→样品表面, 光线经样品表面反射后, 经物镜→补助透镜→半反射镜→补助透镜→棱镜→物镜→目镜, 最后进入观察者眼睛内。

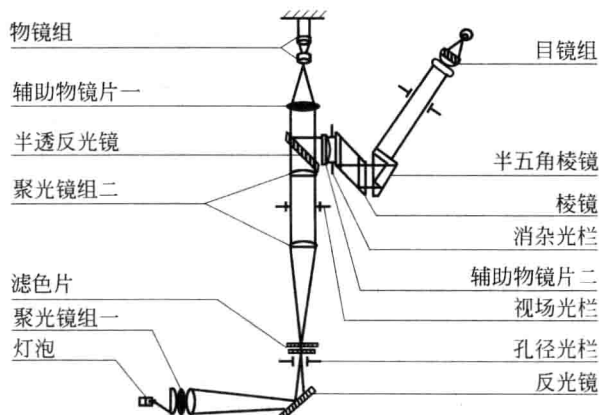


图 1-3 金相显微镜照明及光学系统示意图

其中,孔径光栏可以控制入射光束的粗细。当孔径光栏缩小时,进入物镜的光束变细,球面像差降低,成像较清晰。但同时由于进入物镜的光束变细,使物镜的孔径角缩小,从而实际使用的数值孔径下降、鉴别率降低。相反,当光栏张大时,鉴别率提高,但球面像差增加、镜筒内部反射和内弦的增加,将使成像质量降低。因此,孔径光栏在使用时必须做适当的调节,以观察成像清晰时为适度,但注意不要把孔径光栏作为调节视场的亮度使用。

视场光栏用来调节观察视场的大小。适当调节视场光栏可以减少镜筒内光线反射的炫光,提高成像的衬度,对物镜的鉴别率没有影响。

在进行金相摄影时,往往使用滤色片,不仅可以增加金相照片上组织的衬度,得到较短波长的单色片,也可提高鉴别率。而且配合消色差物镜,可以有效地消除色差。

(2) 光学系统

光学系统的主要组成部分是物镜和目镜,见表 1-1。

表 1-1 物镜和目镜

物镜 消色差	光学系统	放大倍数	数值孔径	焦距/mm	工作距离/mm
	干燥系统	3×	0.25	19.96	9.00
	干燥系统	45×	0.63	4.12	0.50
	油浸系统	100×	1.25	1.93	0.18
目镜 惠更斯	放大倍数		焦距/mm		视场直径/mm
	5×		50		20
	10×		25		14
	15×		16.7		9.5

① 物镜

物镜有消色差物镜、平面消色差物镜、复消色差物镜等几种。物镜的主要性能包括放大倍数、数值孔径、鉴别率、景深等。物镜的类型、放大倍数(或焦距)、数值孔径等通常刻在物镜的金属外壳上,油浸物镜用“01”、“H1”或“oil”等表示,另在黑圈标记。放大倍数有以 8×、45×、100×表示的,也有以焦距来表示的,如 $f=8.16$ 、 $f=2.77$ 等,焦距越短,放大倍数越高。以焦距表示物镜与目镜配合后的放大倍数可查显微镜的附表。

物镜上刻有 45×/0.65“∞”或“0/∞”等符号,其中 45×表示放大倍数,0.65 表示数值孔径,“∞”或“0/∞”表示此物镜是按无限镜筒长度设计的。XJB—I 型金相显微镜备有 8×(干系)、45×(干系)及 100×(油系)三个物镜。

② 目镜

目镜有普通目镜、补偿目镜、测微目镜、照相目镜等几种。目镜的类型、放大倍数等刻在目镜的金属外壳上。普通目镜与消色差物镜配合使用;补偿目镜带“K”字标记,与复消色差物镜配合使用,不可与消色差物镜配合使用;测微目镜内附有细微标尺,可测量金相组织中如晶粒大小、石墨长短、表面脱碳层厚度以及显微硬度压痕等;照相目镜在进行金相摄影时使用。XTB—I 型金相显微镜备有 5×、10×、15×三个目镜。

显微镜在使用时可根据所需要的放大倍数选择合适的物镜和目镜,见表 1-2。有的显

微镜(如蔡司 Epinost 小型金相显微镜)由于其镜筒长度比一般显微镜短,在计算放大倍数时,要乘上一个系数,即 $M = KM_{\text{物}} M_{\text{目}}$, 系数 K 称为镜筒系数,刻在镜体上。

表 1-2 放大倍数

物镜 \ 目镜	8×	45×	100×
5×	40×	225×	500×
10×	80×	450×	1000×
15×	120×	675×	1500×

(3) 机械系统

粗调焦手轮、细调焦手轮: 调节物镜与试样表面的距离, 得到最清晰的图像。

载物台: 载放样品, 可以用手在水平面各方向上自由移动, 以便观察样品的适当部位。

目镜转换器: 可以方便地更换不同倍数的目镜, 并保证使视场中央区域保持在观察范围内。

底座: 为整个显微镜的支撑部件, 并可安装金相摄影装置。

XJB—I 型金相显微镜备有照相装置, 需要时可将其装上进行拍摄。

3. 金相显微镜使用注意事项

金相显微镜是贵重的、精密的光学仪器, 在使用时一定要自觉遵守实验室的制度和必要的规定。

(1) 初次操作显微镜前, 应首先了解显微镜的基本原理、构造、各主要附件的作用、位置等, 并了解显微镜使用注意事项。

(2) 金相样品要干净, 不要残留有酒精和侵蚀剂, 以免腐蚀物镜的透镜。不能用手摸透镜, 擦透镜要用镜头纸。

(3) 照明灯泡电压一般为 6V、8V。必须通过降压器使用, 千万不可将其直接插入 220V 电源, 以免烧毁灯泡及发生触电事故。

(4) 操作要细心, 不得有粗暴和剧烈的动作。安装、更换镜头及其他附件时要小心, 不得摔在地上或桌上。

(5) 调焦距时要避免物镜与样品接触。应先将载物台下降, 使样品尽量靠近物镜(不能接触), 然后用眼从目镜中观察, 先用双手旋转粗调焦手轮, 使载物台慢慢上升, 待看到组织后, 再调节细调焦手轮, 直到图像清晰为止。

(6) 使用中出现故障立即报告老师, 不得私自处理。

(7) 使用完毕后关闭电源, 将镜头与附件放回附件盒, 将显微镜恢复成使用前状态。认真填写使用登记本, 经老师检查无误后方可离开实验室。

四、实验步骤

1. 实验内容

(1) 结合显微镜实体, 掌握显微镜的光学成像原理。仔细了解显微镜的结构及各组件, 如光源、光栏、垂直照明器、暗场和偏光装置、目镜和物镜等的作用, 熟悉物镜和目镜的标记。

(2) 通过整个观察金相样品的实际操作过程,学会正确的操作方法,包括物镜和目镜的选择与匹配、调焦、孔径光阑和视场光阑的调节、放大倍数的计算、暗场的使用、垂直照明器的选用、滤色片的选用等。

(3) 通过参观、课外查阅资料等方式了解其他类型金相显微镜的特点和用途。

2. 实验步骤

(1) 认真听老师讲解金相显微镜的原理、构造及注意事项,了解各组件的位置、作用。

(2) 熟悉显微镜的操作规程,正确选用物镜和目镜,学会调节光阑和焦距等。

(3) 用金相显微镜观察实验室提供的试样,画出组织示意图,并认真体会整个操作过程,初步领会调焦的技巧。

五、实验报告内容

(1) 简述实验目的和步骤。

(2) 简述物镜标记的含义。

(3) 简要说明金相显微镜的操作要点及必须注意的事项。

(4) 画出所观察试样的显微组织示意图。



六、讨论与思考

1. 什么是金相显微镜的有效放大倍数? 如何合理选用物镜和目镜?

2. 什么是显微镜的鉴别率? 如何提高鉴别率?

3. 透镜成像会产生哪几种主要缺陷? 各自是如何形成的?

实验 2 金相试样的制备

一、实验目的

1. 初步掌握金相试样的制备原理。

2. 学习金相试样的制备过程。

3. 了解目前常用的金相显微组织显示方法。

4. 了解目前制备金相试样的先进技术。

二、实验仪器、设备

1. 仪器设备: 金相显微镜、砂轮机、机械抛光机、手工湿磨工具、电吹风等。

2. 实验用品: 金相样品、不同型号的水砂纸、抛光液、酒精、配好的浸蚀剂、镊子、棉

花等。

三、实验试样

钢铁试样和有色金属试样各一个。

四、实验原理

在生产与科研中,金相显微分析是研究材料内部组织的重要手段。其原理为:通过金相显微镜,利用材料表面不同凹凸面对光线反射程度的差别来显示显微组织状态。因此,为了清楚显示出组织细节,要求磨面无变形层、曳尾和划痕等,还要保护好试样的边缘。制样程序通常包括取样、镶样、磨光、抛光、腐蚀等几道工序。为了避免出现“伪组织”而导致错误的判断,需要掌握正确的制样方法。

五、实验步骤

1. 取样

显微试样的选取应根据研究、检测目的,取其最具有代表性的部位。此外,还应考虑被测材料或零件的特点、工艺过程及热处理过程,例如:对于铸件,由于存在偏析现象,应从表面层到中心等典型区域分别取样,以便分析缺陷及非金属夹杂物由表及里的分布情况;对轧制和锻造材料,应同时截取横向及纵向检验面,以便分析材料在沿加工方向和垂直加工方向截面上显微组织的差别;而对热处理后的显微组织,一般采用横向截面。

对于不同性质的材料,试样切取的方法各有所异(见图 2-1),但应遵循一个共同的原则,即应保证被观察的截面不产生组织变化。对软材料,可以用锯、车、刨等方法;对硬而脆的材料,可用锤击的方法;对极硬的材料,可用砂轮切片机或电火花机和线切割机;在大工件上取样,可用氧气切割等。

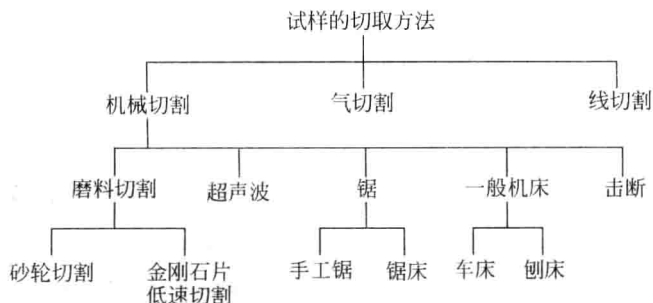


图 2-1 试样的切取方法

试样的尺寸以便于握持、易于磨制为准,一般为直径 $\phi(12\sim 15)\text{mm}$ 、高 15mm 的圆柱体,或高度(或边长) $15\text{mm}\times 15\text{mm}\times 15\text{mm}$ 的正方体,如图 2-2 所示。对形状特殊或尺寸细小的试样,应进行镶嵌或机械夹持。

2. 镶样

镶样的方法有很多,如低熔点合金镶嵌、电木粉或塑料镶嵌和机械夹持等,如图 2-3 和图 2-4 所示,目前多采用塑料镶嵌。镶嵌材料有热固性塑料(如胶木粉)、热塑性塑料(如聚

氯乙烯)、冷凝性塑料(环氧树脂加固化剂,见表 2-1)等。

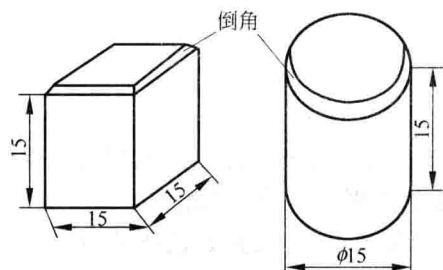


图 2-2 金相试样的尺寸

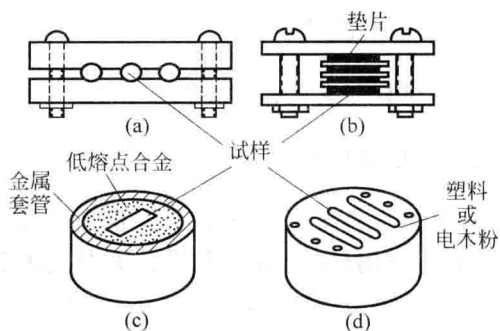


图 2-3 金相试样的镶嵌方法

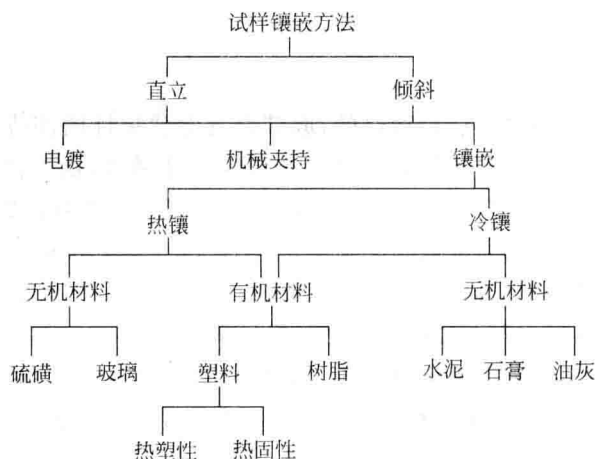


图 2-4 常用镶嵌方法与材料

表 2-1 常用环氧树脂镶嵌料配方

序号	原料名称	用量/g	固化时间/h	用途
1	618 环氧树脂	100	室温, 24 60℃, 4~6	较软及中等硬度的金属材料
	磷苯二甲酸二丁脂	15		
	二乙醇胺(或乙二胺)	10		
2	618 环氧树脂	100	室温, 24 120℃, 10 150℃, 4~6	固化温度较高, 收缩小, 适用于镶嵌形状复杂的小孔和裂纹的试样
	磷苯二甲酸二丁脂	15		
	二乙醇胺	13		
3	6101 环氧树脂	100	室温, 24 80℃, 6~8	高硬度试样或氮化层试样
	磷苯二甲酸二丁脂	15		
	间苯二胺	15		

采用塑料作镶嵌材料时,一般在金相试样镶嵌机上进行镶样。金相试样镶嵌机主要包括加压设备、加热设备及压模三部分,见图 2-5。使用时将试样放在下模上,选择较平整的一面向下,在套筒空隙间加入塑料,然后将上模放入压模(套模)内,通电加热至额定温度后再加压,待数分钟后除去压力,冷却后取出试样。

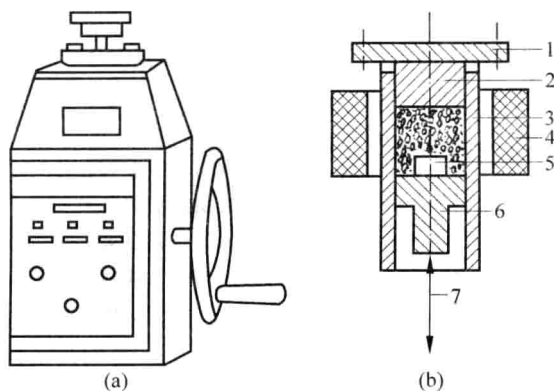


图 2-5 XQ-2 型镶样机

(a) 外形示意图; (b) 镶嵌示意图

1—旋钮; 2—上模; 3—套模; 4—加热器; 5—试样; 6—下模; 7—加压机构

当同时制备多个金相试样时,容易发生混淆,需在试样磨面的侧面或背面标号,标号时力求简单,能互相区别即可。一般使用钢字码打号、刻号,或在用热塑性透明塑料镶嵌时,放入标签。无论用何种方法标记,都不能使试样表面组织发生任何变化。试样标号后装入试样袋,试样袋应记录试样名称、材料标号、工艺、送验单位、检验目的、内容及检验结果等项目。当试样无法标号时,可在试样袋上按其形状特征画出简图,以示区别。

3. 磨制

磨制是为了得到平整的磨面,为抛光作准备,一般可分为粗磨和细磨两步。图 2-6 所示为切取试样后形成的粗糙表面经粗磨、细磨、抛光后磨痕逐渐消除得到平整光滑磨面的示意图。

(1) 粗磨

粗磨的目的是为了整平试样,并磨成合适的外形。粗磨一般在砂轮机上进行,对很软的材料,可用锉刀锉

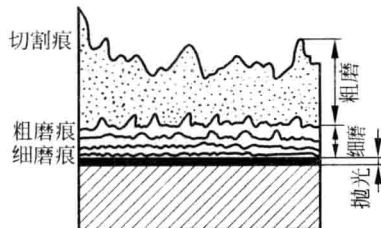


图 2-6 试样表面磨痕变化示意图

平。使用砂轮机粗磨时,必须注意接触压力不可过大,若压力过大,可能会使砂轮碎裂,造成人身和设备事故,同时极易使磨面温度升高引起组织变化,并使磨痕加深、金属扰乱层增厚,给细磨、抛光带来困难。粗磨时需冷却试样,防止受热而引起组织变化。粗磨后需将试样和双手清洗干净,以防将粗砂粒带到细磨用的砂纸上,造成难以消除的深磨痕。

(2) 常规细磨方法

细磨的目的是为了消除粗磨时留下的较深的磨痕,为下一个工序——抛光做准备。常规的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。细磨可以用水作为润滑剂。我国金相砂纸按粗细分为 01 号、02 号、03 号、04 号、05 号等(见表 2-2),细磨时依次从粗到细研磨,即从 01 号磨至 05 号。每次换下一道砂纸之前,必须先用水洗去样品和手上的砂粒,以免把粗砂粒带到下一级的细砂纸上去同时要 将试样的磨制方向调转 90° ,即本道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。

表 2-2 金相砂纸的规格

磨料微粉粒度号*	砂纸代号	尺寸范围/ μm	磨料微粉粒度号*	砂纸代号	尺寸范围/ μm
280	1	~40	1400(M3.5 或 W3.5)	07	3.5~3.0
320(M40 或 W40)	0	40~28	1600(M3 或 W3)	08	3.0~2.5
400(M28 或 W28)	01	28~20	1800(M2.5 或 W2.5)	09	2.5~2.0
500(M20 或 W20)	02	20~14	2000(M2 或 W2)	010	2.0~1.5
600(M14 或 W14)	03	14~10	2500(M1.5 或 W1.5)	—	1.5~1.0
800(M10 或 W10)	04	10~7	3000(M1 或 W1)	—	1.0~0.5
1000(M7 或 W7)	05	7~5	3500(M0.5 或 W0.5)	—	0.5~更细
1200(M5 或 W5)	06	5~3.5			

*：磨料微粉的粒度号按规定用目或粒度表示，指标准筛网上每英寸长度上筛孔的数目。

为加快磨制速度，减轻劳动强度，可在转盘上贴有水砂纸的预磨机上进行机械磨光。水砂纸按粗细有 200 号、300 号、400 号、900 号等，磨制时由 200 号开始，逐次磨到 900 号砂纸，磨制时要不断加水冷却。每换一道砂纸，必须用水将试样冲洗干净，并将磨制方向调换 90° 。

(3) 蜡盘细磨

把石蜡、磨料加热搅拌均匀，使之成糊状，浇注在预磨机或抛光机的圆盘上（盘边用硬纸或金属薄片围住，浇注冷却后再取下），浇注层厚 5~10mm，待冷却后刮平即可作为研磨盘使用，这种研磨方法叫蜡盘细磨。一般须按磨料粗细选择（或制备）2~3 个蜡盘，研磨时，按从粗到细的顺序进行磨光。与其他细磨相比，蜡盘细磨具有以下特点：磨制速度快，质量高，无磨屑飞扬。它适用于磨制易变形的金属材料，如奥氏体不锈钢、有色金属及非金属夹杂物的试样。

磨光质量与蜡盘的组成有关。常用蜡盘的配方如下：

石蜡	40g
硬脂酸	100g
磨料(SiC 或 Al_2O_3)	300g

由于硬脂酸的熔点及硬度较石蜡高，其磨光效果更佳。此外，还可自制简易蜡盘，其方法是在抛光盘的抛光布上，浇注一层 3~5mm 厚石蜡，使之渗入抛光布内，冷却后即成为蜡盘，使用时再洒以磨料与水的悬浮液。

(4) 磨光膏细磨

使用浸过煤油的细帆布作为抛光布，将磨光膏涂在此抛光布上进行磨光，这种细磨方法称为磨光膏细磨。磨光膏可以购买，也可以自制，其配方如下：

硬脂酸	45g
磨料(SiC 或 Al_2O_3)	216g
凡士林	24g
煤油	3g

制备磨光膏时，只需将上述各种材料加热搅拌均匀即可，制好后可装入容器内，或用油纸包装备用。一般按磨料粒度预先做 2~3 种磨光膏，如粒度为 200、400、600 等储存备用，磨光时按由粗到细的顺序，依次涂在抛光布上进行磨光。这种方法操作较简单，能代替蜡盘

获得良好的磨光效果。

4. 抛光

抛光的目的是除去细磨后留下的细微磨痕,使试样表面成为光滑无痕的镜面。常用的抛光方法有:机械抛光、电解抛光、化学抛光,这里主要介绍机械抛光。

机械抛光的原理是利用抛光微粉的磨削、滚压作用,把金相试样表面抛成光滑的磨面。机械抛光在抛光机上进行,常用的抛光机上装有一个或多个电动盘(直径为200~250mm),盘上铺以抛光布,由电动机带动的水平抛光盘的转速一般为300~500r/min。目前国产金相抛光机有单盘P—1型、双盘P—2型两种,均由电动机(0.18kW)带动抛光盘旋转,转速为350r/min。抛光盘用铜或铝制成,直径为200~250mm。

机械抛光可分为粗抛与精抛两个步骤。粗抛的目的是尽快除去磨光时的变形层,常用的磨料为10~20 μm 的 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 或 Fe_2O_3 微粉,加水配成悬浮液后使用。而精抛的目的是除去粗抛产生的变形层,常用抛光微粉的种类、性能和用途见表2-3。

表 2-3 常用抛光微粉的种类、性能及用途

材 料	莫氏硬度	特 点	适 用 范 围
氧化铝(Al_2O_3)(刚玉 包括人造刚玉)	9	白色透明,外形呈多角形	通用于粗抛、精抛
氧化镁(MgO)	5.5~6	白色,颗粒细而均匀,外形 尖锐	铝镁及其合金,非金属夹杂物等精 抛光
氧化铬(Cr_2O_3)	9	绿色,硬度较高	淬火后的合金钢、高速钢及钛合金等
氧化铁(Fe_2O_3)	6	红色,硬度稍低	较软金属、光学零件
碳化硅(SiC ,金刚砂)	9.5	绿色,颗粒较粗	粗抛光
金刚石粉(膏)	10	颗粒尖锐、锋利	各种材料的粗、精抛光

抛光时应将试样的磨面均匀、平整地压在旋转的抛光盘上,并将试样从中心至边缘往返移动。压力不宜过大,抛光时间也不宜过长,一般情况下抛光3~5min即可。抛光时需向抛光盘上不断滴注抛光液,以产生磨削和润滑作用。当磨痕全部消除而呈现镜面时,停止抛光。用清水把试样冲洗干净,再用软布或棉花拭干,或用风筒吹干,然后进行浸蚀。

5. 浸蚀

除某些非金属夹杂物、铸铁中的石墨相、粉末冶金材料中的孔隙等特殊组织外,经抛光后的试样磨面,必须用浸蚀剂进行“浸蚀”获得(或加强)图像衬度后,才能在显微镜下进行观察。获得衬度的方法很多,根据获得衬度的过程是否会改变试样表面,可分为不改变表面方法(如光学法)和改变试样表面方法(如电化学浸蚀法、物理浸蚀法)两大类(见图2-7)。

最常用的浸蚀方法是化学浸蚀法,其作用原理如图2-8所示。纯金属或单相金属的浸蚀是一个化学溶解的过程。晶界处由于原子排列混乱,能量较高,易受浸蚀而呈现凹沟。而各个晶粒由于原子排列的位向不同,受浸蚀的程度也不同。因此,在垂直光线照射下,各部位反射进入物镜的光线不同,从而显示出晶界及明暗不同的晶粒。两相或两相以上合金的浸蚀则是一个电化学腐蚀过程。由于各相的组织成分不同,其电极电位亦不相同,当表面覆