


◆ 普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

材料科学与工程基础 实验教程

葛利玲 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TB3-33/4

2008

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

材料科学与工程基础实验教程

主 编 葛利玲
副主编 卢正欣
主 审 赵 康 梁淑华

机械工业出版社

本书内容涵盖材料类专业的专业基础课程及主要专业课程的基础实验,主要包括:金相显微分析基础、晶体学与结晶学基础(材料科学基础)、材料力学性能与物理性能、合金熔炼与铸造、凝固技术及控制、材料加工工艺(焊接、塑性成形及压力加工)、金属热处理、材料学、材料化学、材料腐蚀与防护、金属 X 射线衍射及电子显微分析(材料现代分析测试方法)等十几门课程的 59 个实验。在实验内容的编排上,以金相显微分析基本技能实验为基础,以专业基础课与专业主干课实验为主体,突出体现材料各种典型组织的金相特征(光学金相及电子金相)、形成原因以及与性能之间的内在联系。同时,还编写了以提高综合能力、创新能力为主的综合设计实验。在具体实验时,根据实验条件和实验学时可以有选择地完成实验内容。

本书可作为材料类专业如材料科学与工程、材料成形及控制工程、材料物理、材料化学及其他相关专业的本科生实验教学用书,也可供有关教师、研究生以及从事材料类的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料科学与工程基础实验教程/葛利玲主编. —北京:
机械工业出版社, 2008. 6
普通高等教育材料科学与工程专业规划教材
ISBN 978-7-111-23888-1

I. 材… II. 葛… III. 材料科学—实验—高等学校—教材 IV. TB3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 050443 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:冯春生 版式设计:张世琴 责任校对:申春香
封面设计:张静 责任印制:洪汉军
北京铭成印刷有限公司印刷
2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 15.25 印张 · 370 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-23888-1
定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294
购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010)88379715
封面无防伪标均为盗版

前 言

高等院校要培养出高素质、具有开拓精神的创新型人才，实验教学是实现这一目标的重要环节，它对培养学生实验技能、创新能力和综合能力有着不可替代的作用。材料类专业要求培养的学生既要有扎实的基础理论知识，又要具备一定的实验研究能力。为了使实验教学与理论课程教学紧密联系，同时又有相对的独立性和针对性，本书在注重协调材料科学与工程学科不同专业共性与个性培养的同时，加强常规基础实验，实现同一学科多专业知识的交叉与渗透，以满足宽口径人才培养的需要。在实验内容深度与广度上，既增强了该书的适用性与针对性，又把握了该书的科学性和系统性；在实验内容的编排上，以金相显微分析基本技能实验为基础，以专业基础课与专业主干课实验为主体，突出体现材料各种典型组织的金相特征(光学金相及电子金相)、形成原因以及与性能之间的内在联系。同时，还编写了以提高综合能力、创新能力为主的综合设计实验，以培养具有创新能力的高素质应用型人才。

本书由葛利玲担任主编，卢正欣担任副主编，参加编写的有：葛利玲(实验 1~13、24、28、35~37、39~45)，陈文革(实验 16、17)，罗启文(实验 14、15、33)，何毓阳(实验 18~21)，徐春杰(实验 22、23)，王武孝(实验 25、26)，张忠义(实验 27)，唐文亭(实验 29~31)，牛锐锋(实验 32)，徐雷(实验 34)，胡可文(实验 38)，段宗范、刘东杰(实验 46~49)，赵麦群(实验 50~53)，卢正欣(实验 54~59)。全书由葛利玲、卢正欣统稿，赵康、梁淑华担任主审。

参加书稿通审工作的还有西安交通大学柴东郎教授和西安理工大学谷臣清教授，并给予了精心的指导，在此表示诚挚的感谢。

在本书编写过程中得到了西安交通大学的朱杰武教授，西安理工大学蒋百灵、赵高扬、井晓天几位教授的大力支持，并提出了许多宝贵意见和建议，得到了梁戈、时惠英、白力静、刘金利几位教师的热心帮助，得到了西安理工大学教材建设委员会以及西安理工大学材料科学与工程学院的支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中有不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 金相显微分析基础实验	1
实验 1 金相显微样品的制备	2
实验 2 光学金相显微镜的成像原理、构造及使用	11
实验 3 显微摄影及暗室技术	20
实验 4 金相显微镜数字图像采集系统应用	29
第二章 晶体学及结晶学基础实验	31
实验 5 典型金属晶体结构的钢球模型堆积分析	32
实验 6 位错蚀坑的观察与分析	35
实验 7 盐类结晶过程及晶体生长形态的观察	39
实验 8 二元与三元合金显微组织观察与分析	42
实验 9 铁碳合金平衡组织观察与分析	47
实验 10 钢的冶金质量及缺陷组织分析	51
实验 11 金属的塑性变形与再结晶	54
实验 12 高分子结晶形态的偏振光显微镜观察与分析	58
第三章 金属材料物理力学性能基础实验	61
实验 13 金属材料硬度试验	62
实验 14 金属室温静拉伸力学性能的测定	69
实验 15 冲击试验	74
实验 16 金属平面应变断裂韧度 K_{Ic} 的测定	78
实验 17 力学性能综合实验	82
实验 18 差热分析实验	85
实验 19 金属材料热膨胀系数的测定	89
实验 20 热膨胀法测金属的相变点	93
实验 21 双电桥法测量金属及合金的电阻	95
第四章 材料成形基础实验	101
实验 22 铝合金的熔炼与铸造	102
实验 23 铝硅合金的晶粒细化与变质处理	105
实验 24 铸造工艺条件对金属铸锭组织的影响	108
实验 25 合金流动性测定	111
实验 26 合金凝固过程中的应力测试	114

实验 27	钨极氩弧焊及电源外特性测试	118
实验 28	低碳钢的焊接及常见组织缺陷观察	121
实验 29	挤压变形力变化规律与金属流动性	126
实验 30	金属薄板的成形极限	128
实验 31	金属压缩过程数值模拟及摩擦因数的测定	132
实验 32	激光加工工艺实验	136
实验 33	粉体成形工艺实验	139
实验 34	硬质合金、特种陶瓷及复合材料组织观察	142
第五章	金属材料及热处理实验	147
实验 35	碳钢的普通热处理	148
实验 36	碳钢热处理后的显微组织观察与分析	152
实验 37	奥氏体晶粒度的测定	157
实验 38	钢的 C 曲线测定	159
实验 39	钢的淬透性测定	163
实验 40	渗碳及渗碳层厚度的测定	166
实验 41	热处理综合实验	169
实验 42	合金钢、工具钢及不锈钢组织观察与分析	171
实验 43	普通铸铁组织观察与分析	175
实验 44	有色金属组织观察与分析	179
实验 45	常见热加工缺陷组织观察与分析	183
第六章	材料化学基础实验	189
实验 46	钢铁中锰含量的测定	190
实验 47	钢铁零件氧化发蓝处理	192
实验 48	溶胶-凝胶法和沉淀法制备纳米粉	195
实验 49	塑料电镀	198
实验 50	盐雾试验	201
实验 51	金属钝化及极化曲线的测定与分析	204
实验 52	线性极化法测定金属的腐蚀速度	206
实验 53	铝及铝合金的阳极氧化、着色与封闭处理	208
第七章	材料现代分析测试方法实验	211
实验 54	X 射线衍射仪结构原理及物相分析	212
实验 55	X 射线衍射残余应力与晶粒尺寸测试	216
实验 56	透射电子显微镜样品及其制备方法	219
实验 57	透射电子显微镜结构成像原理与图像观察	223
实验 58	扫描电子显微镜结构成像原理与图像观察	227
实验 59	材料现代分析测试综合设计实验	230

附录	233
附录 A 显示钢铁材料显微组织常用化学浸蚀剂	234
附录 B 布氏、维氏、洛氏硬度值的换算表	236
附录 C 符号说明	237
参考文献	238

第一章

金相显微分析基础实验

实验1 金相显微样品的制备

一、实验目的

- 1) 掌握金相显微试样的制备原理和制备过程。
- 2) 熟悉常用的金相显微组织显示方法。

二、原理概述

金相显微分析是研究材料内部组织的重要方法之一。借助于光学显微镜观察和研究任何金属内部组织，一般要分三个阶段来进行：

- 1) 制备所截取试样的表面。
- 2) 采用适当的腐蚀剂与操作方法显示表面的组织。
- 3) 用金相显微镜观察和研究试样表面的组织。

这三个阶段是一个有机的整体，无论哪一个阶段操作不当，都会影响最终的分析结果。因此，首先要制备出能用于微观分析的样品——金相显微试样，简称试样。

一个合格的试样必须保证：具有代表性、组织要真实、无划痕、无污物、无变形层、平坦光滑以及夹杂物完整。

要制备出这样的试样，必须严格按照下列步骤精心制作，否则不仅得不到合格的试样，而且会导致错误的分析结果，给生产与科研带来损失。因此，制备金相试样是从事材料科学工作技术人员的基本功之一。试样制备过程流程如下：

取样→镶嵌与夹持→磨制→抛光→浸蚀(显示组织)→保存

1. 金相试样的取样

从被检验材料或零部件上切取一定尺寸试样的过程称为取样。选择合适的、有代表性的试样是进行金相显微分析极其重要的一步，包括选择取样部位、检验面及确定截取方法、试样尺寸等。

(1) 试样的取样原则 取样部位应具有代表性，所取的试样能真实反映材料的组织特征或零部件的质量，取样部位要根据金相分析的目的来取。金相试样截取的部位确定后，还需进一步明确选取哪一个截面作为金相试样的磨面，磨面一般分为横截面与纵截面，这两个截面研究的目的是不同的。

横截面主要研究：试样从中心到边缘组织分布的渐变情况，表面渗层、硬化层、镀层等表面处理的深度及其组织，表面缺陷以及非金属夹杂物在横截面上的分布情况，即类型、形态、大小、数量和分布及等级等。

纵截面主要研究：非金属夹杂物在纵截面上的分布情况、大小、数量及形状，金属的变形程度，如有无带状组织的存在等。

有时为了研究某种组织的立体形貌，在一个试样上选取两个互相垂直的磨面。对于裂纹、夹杂物的深度的测量，往往也需要在另外的一个垂直磨面上进行。

试样截取时应注意的事项:

1) 保证材料不发生任何组织变化。

2) 尺寸大小要合适,易于磨制为宜。推荐尺寸见图1-1。如没有特殊要求,一般情况下要对试样进行倒角,以免在以后的制备过程中划破砂纸与抛光布。

GB/T 13298—1991《金相显微组织检验方法》中推荐试样尺寸以磨面面积小于 400mm^2 、高度 $15\sim 20\text{mm}$ 为宜。

3) 截取试样时应注意保护试样的特殊表面,如热处理表面强化层、化学热处理渗层、热喷涂层及镀层、氧化脱碳层、裂纹区以及废品或失效零件上的损坏特征,不应因截取而造成损伤。

以上所述是取样的一般原则,对于一些常规检验的取样部位,有关的技术标准中都有明确的规定,必须严格执行。

(2) 试样的截取方法 试样的截取方法很多,常用的有:

1) 电切割:电火花切割、线切割。

2) 气切割(氧-乙炔火焰)。

3) 机械切割:切割机、锯(手锯、锯床)、机床(车床、剪床、刨床)、敲击。具有一定硬度的材料如普通碳钢、普通合金钢、淬火处理后的材料用砂轮切割机或电火花切割。常用的切割方法是薄片水冷砂轮切割机,砂轮厚度在 $1.2\sim 2.0\text{mm}$,规格为 $\phi 250\text{mm}\times 1.5\text{mm}$ 。砂轮片是由颗粒状碳化硅(或氧化铝)与树脂、橡胶粘合而成。

2. 金相试样的镶嵌与夹持

当试样尺寸过小(如:薄板、丝材、金属丝、碎片、钢皮以及钟表零件等)不易握持或要求保护试样边缘(如:表面处理的检测、表面缺陷的检验等),则要对试样进行镶嵌或夹持。再之,在现代金相实验室中广泛使用半自动化或自动化的磨光机和抛光机,要求试样的尺寸规格化才能装入夹持器中,因此也要进行镶嵌。

(1) 夹持 试样的夹持要利用预先制备好的夹具装置。制作夹具的材料一般多选用低碳钢、不锈钢、铜合金等。机械夹具的形状,主要根据被夹试样的外形、大小及夹持保护的要求来选定。将试样进行夹持的优点是方便;缺点是磨制试样时易在缝隙中留下水与浸蚀剂,试样表面极易受到污染,造成假象,因此为保证浸蚀效果,最好将试样从夹具中取出后再浸蚀。

(2) 镶嵌 有一些试样体积较小,外形不规则,这时就要对试样进行镶嵌。镶嵌不仅有利于制样,而且使表面缺陷及边缘得到保护,图1-2是金相试样的夹持与镶嵌方法示意图,镶嵌时必须依据下列原则:

1) 不允许影响试样显微组织,如机械变形及加热。

2) 镶嵌介质与被镶嵌试样硬度、耐磨性相近,否则对保护试样边缘不利。

3) 镶嵌介质与被镶嵌试样有相近的耐腐蚀能力,避免在浸蚀时造成一方被强烈腐蚀。

试样镶嵌的方法可分为冷镶嵌与热镶嵌。

冷镶嵌是指在室温下使镶嵌介质固化,一般适用于不宜受压的软材料及组织结构对温度

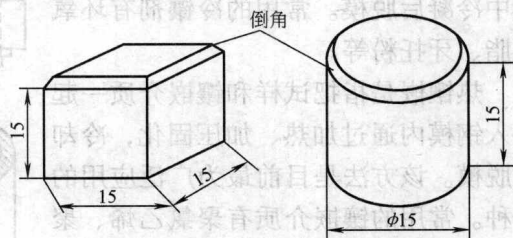


图 1-1 金相试样尺寸

变化敏感或熔点较低的材料。冷镶嵌时，将金相试样置于模子中，注入冷镶嵌剂中冷凝后脱模。常用的冷镶嵌剂有环氧树脂、牙托粉等。

热镶嵌是指把试样和镶嵌介质一起放入钢模内通过加热、加压固化，冷却后脱模。该方法是目前最为广泛应用的一种。常用的镶嵌介质有聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛树脂与电木粉。常用设备为 XQ-2B 型金相镶嵌机，镶嵌机主要包含加压、加热装置与压模三部分。镶嵌时将准备好的试样磨面向下，放入下模，在套筒中根据试样大小和高低放入适量镶嵌介质后，装上模，固紧顶压螺杆，先转动加压手轮到压力指示灯亮，再加热，设定温度与实测温度均有数字显示，并能自动控温。加热后由于镶嵌介质逐渐软化，压力指示灯会熄灭，此时应增加压力至指示灯亮，稍等几分钟（一般为 8~12min），停止加热，此时镶嵌已完成。去掉压力，转开顶压盖，上升压模，即可取出镶嵌好的试样。

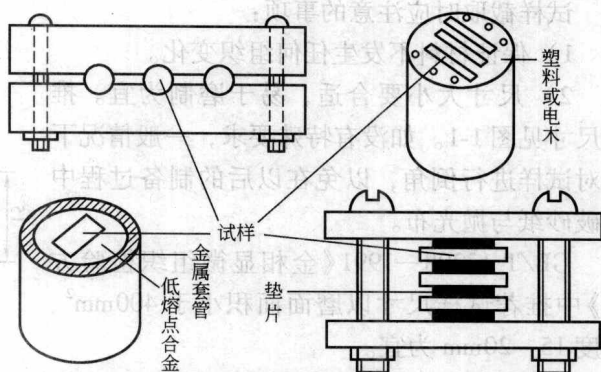


图 1-2 金相试样的夹持与镶嵌方法

3. 金相试样的磨制

(1) 粗磨 由于手锯或锤击所得的试样其表面很粗糙，切割后的试样由于机械力的作用表层存在较深的变形层，或由夹具夹持的试样，这些都需要用砂轮机进行平整，从而得到一个平整的表面，平整又称为粗磨。由于砂轮机的转速极快，易产生很大的热量，并且接触压力越大，产生的热量也越大，变形也越大，故操作时应注意。手持试样前后用力要均匀，接触压力不可过大，以防过量发热及机械变形。磨制时要不断冷却试样，以保证试样的组织不因受热而发生变化。凡不作表面层金相检验的试样必须倒角。软材料操作要用锉刀锉平，不能在砂轮机上平整，以免产生较大的粗磨痕与大的变形层。平整完毕后，必须将手和试样清洗干净，防止粗大沙粒带入下道工序，造成较深的磨痕。

(2) 磨光 又称为细磨，其目的是消除粗磨留下来的深而粗的磨痕和变形层，为抛光作好准备。磨光通常在砂纸上进行，可分为手工磨制与机械磨制。手工磨制采用金相砂纸，机械磨制采用水砂纸。无论是金相砂纸还是水砂纸，其粗细是按单位面积内沙粒的颗粒度来定义的，其编号为 150、220、320、400、500、600、700、800、900、1000、1200，号越大砂纸越细。磨光过程中，应注意砂纸及磨光器材的选用和操作方法，合理制订磨光工艺，尽量将变形层减至最小。

1) 手工磨制。手工磨制是将金相砂纸放在玻璃板上，一手按紧砂纸，另一手持试样，使试样和砂纸相接触，并用手给予一定的压力向前推，同时保持压力均衡。磨制时所使用的砂纸则由粗到细。磨制时应注意：

① 从粗到细，不许跳越，否则难以达到消除前道砂纸留下的划痕。

② 试样的磨制方向应和上道工序的磨痕垂直，当前磨制的划痕已经将上道砂纸留下的划痕完全覆盖，再换下一道砂纸。每换一道砂纸，试样磨制方向换 90°。

③ 试样和手要洗干净，以免将粗沙粒带到下道工序中。

④ 在磨制软试样时，应加煤油作润滑剂。

图 1-3 是手工磨光操作示意图, 图 1-4 是试样磨面在磨光过程中的变化。

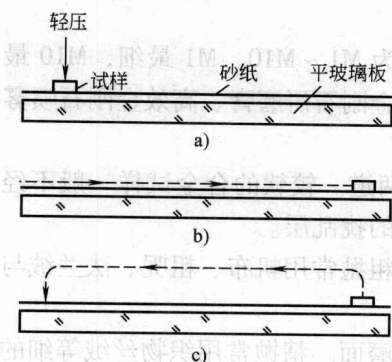


图 1-3 手工磨光操作示意图

a) 开始 b) 向前 c) 退回

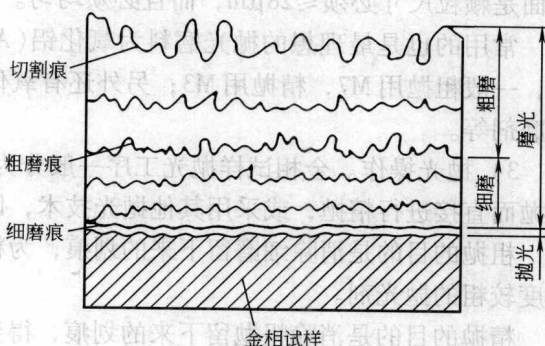


图 1-4 试样磨面在磨光过程中的变化

2) 机械磨制。机械磨制是用水砂纸在预磨机上进行, 磨制时也是从粗到细。机械磨制的优点是效率高, 同时由于在磨制过程中有水不断冷却, 热量及磨粒不断被带走, 因此不易产生变形层, 样品质量容易控制。

4. 金相试样的抛光

抛光的目的在于消除磨光后留下的磨痕, 使试样的抛光面光亮无痕, 犹如镜面, 同时彻底去除变形层, 得到一个理想的金相磨面。理想的抛光面应平滑光亮、无划痕、无浮雕、无塑性变形层和不脱落非金属夹杂物。

抛光的方法按其本质分为机械抛光、电解抛光、化学抛光和综合抛光等。这里主要介绍机械抛光和电解抛光。

(1) 机械抛光

1) 机械抛光原理。机械抛光是抛光微粒与试样磨面相对作用的结果, 可归结为: 抛光微粒的磨削作用及抛光过程中微粒的滚压作用。

抛光微粒的磨削作用是抛光微粒被嵌入抛光织物的间隙内, 暂时固定着, 其尖锐的刀口露在上边, 当抛光机旋转时和试样表面接触, 磨料的刀口就起到了磨削的作用。而且, 在试样表面上产生的切削和划痕都要比磨光时细得多。

微粒的滚压作用是抛光微粒很容易从抛光织物中脱出, 甚至飞出抛光盘。这些脱出的微粒在抛光过程中夹在抛光织物与磨面之间, 对磨面产生滚压作用, 使试样表面凸起部分移流凹洼处。此外, 抛光织物与磨面之间的机械摩擦也有助于“金属的流动”, 同时也起一定的抛光作用。另外, 抛光织物的纤维与磨面之间的机械摩擦亦助长了表层金属的流动。

磨光试样表面会留下不同程度的变形层, 抛光也会产生轻微变形层(特别是对较软的金属在抛光过程中压力过大、时间过长时), 这会使显微组织受到影响或不真实, 有时也会降低组织衬度。

2) 抛光设备及材料。常用的抛光机有单头抛光机与双头抛光机。随着科学技术的发展, 抛光机日趋半自动化、自动化, 制样的效率、质量不断得以提高。国外现已将计算机应用到自动抛光机上, 使自动抛光机能够实现程序自动控制。

作为抛光磨料应具有高的硬度、强度, 其颗粒均匀, 好的磨粒外形尖锐呈多角形, 一旦

破碎也会增加磨粒的切削刃口。作为试样抛光磨料必须要有选择，一方面是切削性能，另一方面是颗粒尺寸必须 $\leq 28\mu\text{m}$ ，而且必须均匀。

常用的也是最理想的抛光磨料为氧化铝(Al_2O_3)，可分为 M1 ~ M10，M1 最细，M10 最粗，一般粗抛用 M7，精抛用 M3；另外还有氧化镁(MgO)、金刚石研磨膏、高效金刚石喷雾研磨剂等。

3) 抛光操作。金相试样抛光工序一般分为粗抛与精抛两道。较软的合金试样一般不经粗抛而直接进行精抛，或采用其他抛光技术，以免造成严重的扰乱层。

粗抛的目的是消除细磨留下来的划痕，为精抛作准备。粗抛常用帆布、粗呢、法兰绒与粒度较粗的抛光剂。

精抛的目的是消除粗抛留下来的划痕，得到光亮平整的磨面。精抛常用织物丝绒等细的磨料。

抛光时应注意抛光液的浓度不宜过高或过低。浓度过高并不会提高抛光速度；浓度太低则会明显降低效率。同时要控制湿度，湿度是通过抛光液来调节的。湿度不足容易使磨面产生过热或粘结抛光剂并降低润滑性，磨面失去光泽。软合金则易抛伤表面，出现麻点、黑斑。湿度太大会减弱抛光的磨削作用。检验抛光织物上湿度是否合适的办法是：观察试样抛光面上水膜蒸发的时间，当试样离开抛光盘后，抛光面上附着的水膜应在 2 ~ 5s 内蒸发完毕。一些较软的试样如铅、锡、锌、铝等，易产生表面变形层，可用抛光—浸蚀交替操作或抛光—化学抛光方法进行消除。

4) 抛光检查。完成抛光程序的试样应及时进行清洗和检查。

① 低倍检查。将试样的抛光面置于明亮光线下，用人眼或放大镜仔细观察。观察时不同角度的转动，更易看清试样上的情况。合格的抛光面应当符合以下要求：平整、光洁、反射性好、无污染、无斑点、无水迹、无抛光剂残留物、无划痕、无麻点等。

② 显微镜检查。对于重要和需要摄影的试样应在放大 100 倍的显微镜下进行检验，应符合以下要求：无妨碍金相摄影的划痕、无组织及夹杂物曳尾现象、无污点、无因磨料嵌入而引起的黑点等。

(2) 电解抛光 电解抛光(也称阳极抛光或电抛光)是把试样作为阳极，另一种经选择的金属作为阴极，将试样放入电解液中，接通直流电源，在一定的电制度下，使试样磨面上凸起处产生选择性溶解，逐渐使磨面变得平整光滑，之后经电解浸蚀显示出试样的组织，电解抛光装置见图 1-5。

电解抛光与机械抛光相比，其优点是：电解抛光容易得到一个无擦划残痕的磨面，也不产生附加的表面变形，易消除表面变形扰动层。对于较硬的金属材料用电解抛光法比机械抛光快得多。而且，电解抛光能够抛光多面的或非平面异形试样。尽管电解抛光有很多优点，但是由于电解抛光对金属材料成分的不均匀性及显微偏析特别敏感，所以对具有偏析的金属材料难以进行良好的电解抛光，甚至不能进行电解抛光。含有夹杂物的金属材料，如果夹杂物受电解浸蚀，则夹杂物会被全部抛掉；如果

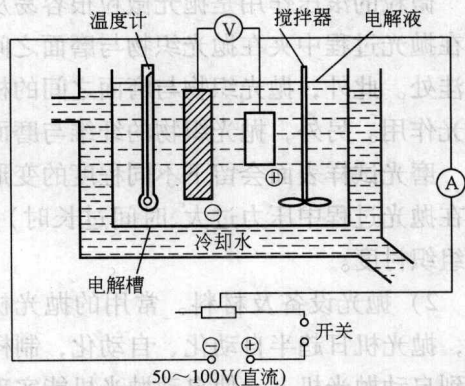


图 1-5 电解抛光装置

夹杂物不被电解浸蚀，则保留下来的夹杂物会在试样表面上凸起形成浮雕。电解抛光因金属材料的不同，相应的电解抛光液也不同。直流电压的高低、电流密度的大小也有差异，在没有参考依据情况时，需进行相当多的试验工作来确定相适应的电解抛光规范。

5. 金相显微组织的显示方法

光学金相显微镜是利用磨面的反射光成像的。金相试样经抛光后，在金相显微镜下，由于非金属夹杂物、游离石墨、显微裂纹、表面镀层以及有些合金的各组织组成物的硬度相差较大(如复合材料中的陶瓷增强物等)，或由于组织组成物本身就有独特的反射能力，因此可以利用抛光磨面直接观察并进行金相研究。而大多数组成相对光线均有强烈的反射能力，在金相显微镜下组织无法观察到，这就需要利用物理和化学的方法对抛光磨面进行专门的处理，以使试样各组织之间呈现良好的衬度，这就是金相组织的显示。试样中各组成相及其边界具有不同的物理、化学性质，利用这些差异使之转换为磨面反射光强度和色彩的区别就是金相显示的原理。

按金相组织显示的本质可以分为化学与物理两类。化学方法主要是浸蚀方法，包括化学浸蚀、电化学浸蚀及氧化，这些都是利用化学试剂的溶液借助化学或电化学作用显示金属的组织。物理方法是借金属本身的力学性能、电性能或磁性能显示出显微组织，采用光学法、干涉层法和高温浮凸法等几类。其中光学法是借助于金相显微镜中的光学信息如偏振光、相衬、干涉等，将具有位相差差异相转换成可见衬度的方法，把金相试样在反射光中肉眼无法分辨的相显示出来。所用试样可不经过其他显示处理或仅作轻微的浸蚀即可显示组织特征。显微镜上能用来显示组织的特殊附件有暗场、偏光、相衬、干涉、微差干涉衬度等。这里主要介绍化学浸蚀法。

化学浸蚀法是将抛光好的试样磨面浸入化学试剂中或用化学试剂擦拭试样磨面，使之显示显微组织的一种方法。这里浸蚀剂对试样的作用可以是简单的化学溶解，也可能是电化学作用，这完全取决于合金中组成相的多少以及组成相的性质。这种方法是应用最早和最广泛的常规显示方法。

(1) 化学浸蚀原理

1) 纯金属及单相固溶体合金的浸蚀。单相固溶体合金或纯金属的浸蚀是一个单纯的化学溶解过程。浸蚀剂首先把磨面表层很薄的变形层溶解掉，接着就对晶界起化学溶解作用，这是因为在晶界处原子排列不规则，原子能量较高，相对的结合力松弛，所以晶界处较容易浸蚀而呈凹沟，见图 1-6a。若继续浸蚀则会对晶粒产生溶解作用，金属原子的溶解大都是沿原子密排面进行的，又由于磨面上每个晶粒原子排列的位相不同，其溶解的速度也不同，也就是浸蚀后每个晶粒的表面与原磨面各倾斜了一定角度，见图 1-6a。在显微镜垂直照明下，光线在晶界处被散射，不能全部进入物镜，因而显示出黑色晶界，见图 1-6a，在晶粒平面处的光线则以直接反射光进入物镜，呈现白亮色从而显示出晶粒的

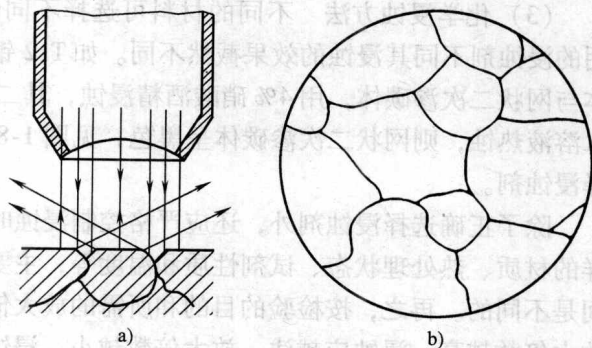


图 1-6 单相浸蚀显示原理示意图

a) 晶界处光线的散射 b) 直射光反映为亮晶晶粒

大小与形状, 见图 1-6b。

2) 两相合金的浸蚀。两相合金的浸蚀也是电化学的溶解过程。由于组成相的电化学电位不同, 在相同的浸蚀条件下, 具有较高电位的阳极被迅速地电解溶解, 使该相成为凹坑。具有较高正电位的阴极相, 在正常的电化学作用下不被溶解而成光滑平面, 这就可以将两相组织区分开来, 图 1-7 是珠光体两相组织的浸蚀原理。

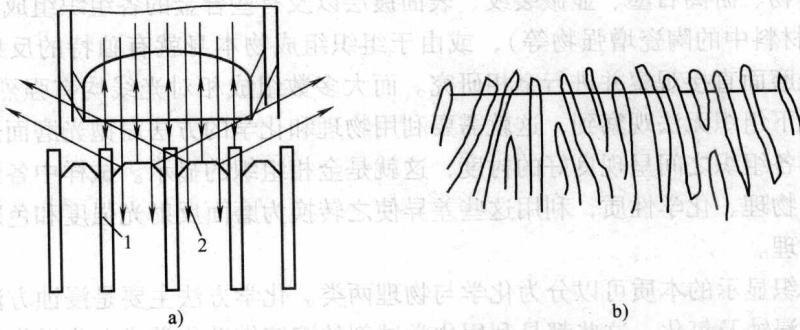


图 1-7 两相组织浸蚀原理示意图

a) 两相处的光线散射与反射 b) 层片状珠光体组织

1—渗碳体 2—铁素体

3) 多相合金的浸蚀。多相合金的浸蚀也是电化学溶解过程, 其浸蚀原理和两相合金相同, 但多相合金化学元素多, 相复杂, 一种浸蚀剂往往不能收效, 仅能作选择浸蚀, 有的相还不能被浸蚀, 所以应采用多种浸蚀剂腐蚀, 逐步显示组织, 这里不再详述。

(2) 化学浸蚀剂 化学浸蚀剂中有多种化学试剂, 归结起来有酸类、碱类、盐类, 常用的溶剂有水、酒精、甘油等。化学浸蚀中酸用得最多, 如硝酸酒精溶液、苦味酸酒精溶液, 可浸蚀普通的碳钢、低碳钢。硝酸酒精溶液能显示铁素体晶界, 但不能显示金相组织细节部分, 而且不太均匀, 不能显示碳化物。苦味酸酒精溶液显示组织均匀, 且能很好地显示和区分金相组织中相的细微部分, 如马氏体和碳化物, 但腐蚀速度较慢。

化学浸蚀剂的应用与金属组织显示的程度, 对在显微镜下观察鉴定、研究组织以及摄影质量都有密切的关系, 所以必须正确、恰当地选择化学浸蚀剂。常用的化学浸蚀剂见附录 A。

(3) 化学浸蚀方法 不同的材料可选择不同的浸蚀剂, 同一种材料处理状态相同, 采用的浸蚀剂不同其浸蚀的效果截然不同。如 T12 钢, 退火处理后的组织形态为片层状的珠光体与网状二次渗碳体, 用 4% 硝酸酒精浸蚀, 其二次渗碳体呈白色网状, 而用碱性苦味酸钠水溶液热蚀, 则网状二次渗碳体呈黑色, 见图 1-8。所以要根据检验的目的和要求, 正确选择浸蚀剂。

除了正确选择浸蚀剂外, 还应严格控制浸蚀时间。浸蚀时间受多方面的因素影响, 如试样的材质、热处理状态、试剂性质和温度等, 主要依效果而定。浸蚀剂的成分不同, 浸蚀时间是不同的。再之, 按检验的目的和所需的放大倍数的不同, 所用的浸蚀时间也不同。一般放大倍数越高, 浸蚀应越浅, 放大倍数越小, 浸蚀应越深。图 1-9 为工业纯铁浸蚀合适与浸蚀过度效果。

总之, 试样经过浸蚀后, 浸蚀不足时, 可以重复浸蚀, 若浸蚀过深时, 则必须重新磨

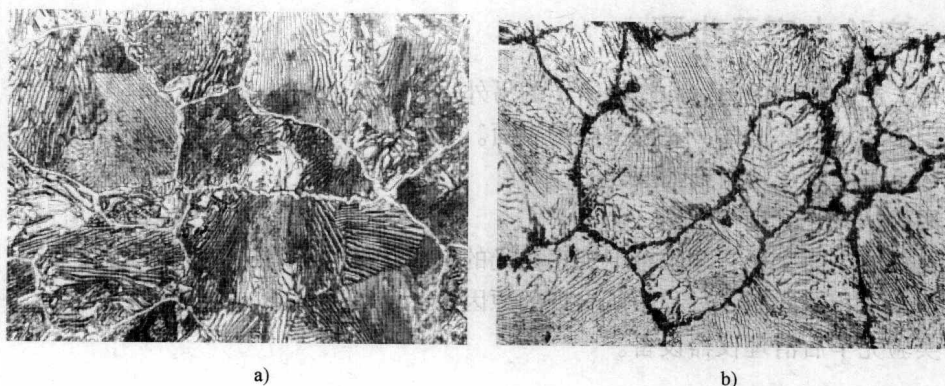


图 1-8 T12 钢不同浸蚀剂的效果

a) 4% 硝酸酒精浸蚀 500× b) 碱性苦味酸钠水溶液热蚀 500×

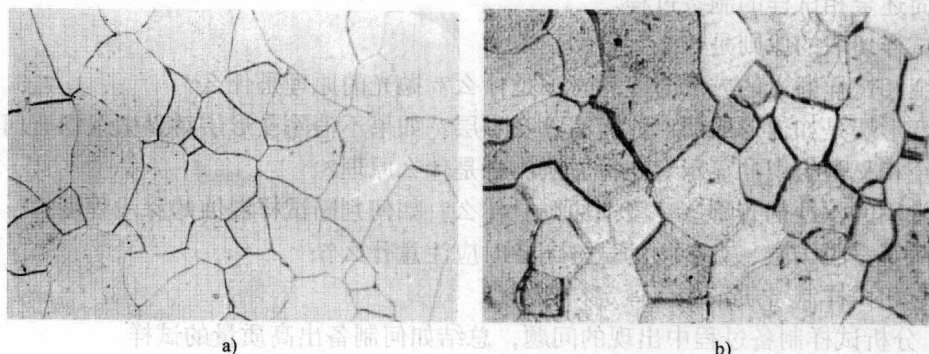


图 1-9 工业纯铁不同浸蚀时间

a) 浸蚀合适 200× b) 浸蚀过度 200×

光、抛光后再加以适当浸蚀。浸蚀程度一般以试样的抛光面失去光泽呈灰色为宜，这时应当立即停止浸蚀，并用水冲洗，再用酒精冲洗，吹干、观察或保存。

6. 金相试样的质量鉴别与保存

金相试样的质量鉴别方法应将宏观法与微观法相结合，有下面几点：

- 1) 试样磨面要求平整、无划痕、无污物。
- 2) 对于脆性易剥落的夹杂物，不应出现曳尾现象。
- 3) 对于软硬不均的试样，不应出现浮雕现象。
- 4) 浸蚀要均匀，没有锈斑。
- 5) 组织真实，不应有假象产生。

已经制备好的试样应保存好，主要是防止生锈和机械损伤。一般将试样放在装有干燥硅胶的干燥缸内，并在缸盖上涂上凡士林密封，在缸内应铺上绒布。

三、实验设备及材料

- 1) 切割机、砂轮机、预磨机、抛光机、吹风机、金相显微镜等。
- 2) 金相砂纸、玻璃板、浸蚀剂、抛光液、镊子、脱脂棉等。

四、实验内容及步骤

- 1) 每人制备一块中碳钢和随机给定的另外一种材料的试样。
- 2) 用砂轮机打磨试样，获得平整的表面。
- 3) 用手工磨制法从粗到细磨光。
- 4) 用机械抛光法进行抛光。
- 5) 在浸蚀之前，先在显微镜下观察抛光的磨面状况，然后进行浸蚀。
- 6) 观察金相试样制备过程中所出现的原因，了解消除假象的方法。
- 7) 实验完毕后清理仪器设备。

五、实验报告要求

- 1) 写出实验目的、实验设备。
- 2) 简述金相试样的制备过程。
- 3) 试样切取的原则是什么？
- 4) 金相试样磨光的方法与注意事项是什么？抛光的原理是什么？
- 5) 变形层是如何形成的？如何消除变形层？如果不消除变形层对显微组织有何影响？
- 6) 金相显微组织的显示有几种方法？各是什么原理？
- 7) 常用的浸蚀剂有哪些？浸蚀原则是什么？如何判断试样浸蚀的深浅程度？
- 8) 需观察脱碳层、夹杂物的试样制备时应注意什么？
- 9) 金相试样制备质量如何评定？
- 10) 分析试样制备过程中出现的问题，总结如何制备出高质量的试样。
- 11) 对本次实验的体会与建议。