

中等专业学校试用教材

金相分析基础

河北省机电学校 汪守朴 主编

ZHONGDENG
ZHUANYE
XUEXIAO
JIAOCAI



机械工业出版社

机械工业出版社
PDG

T115.21

15-2

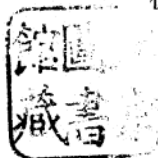
中等专业学校试用教材

金 相 分 析 基 础

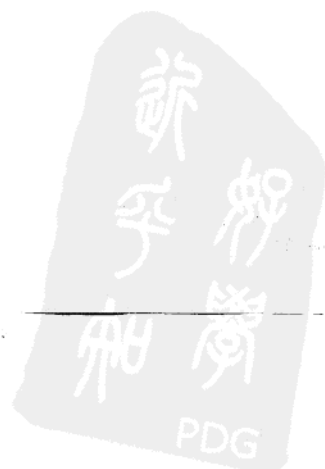
河北省机电学校 汪守朴 主编



机械工业出版社



B10/81



前 言

《金相分析基础》是中等专业学校金属热处理专业试用教材。是根据机械电子工业部教育局 1987 年审定的金属热处理专业四年制教学计划组织编写的。本书可供职工学校、业余学校有关专业教学使用。并可供从事金相检验、金属热处理及金属热加工（铸、锻、焊）的工程技术人员参考。也能供热加工类专业师生进行金相实验课时参考。

金属材料的显微组织直接影响到材料和机械零件的性能和使用寿命，金相分析便是评定和控制材料及零件内在质量的重要手段；另外，在新材料的研究、新工艺的试验中都离不开金相分析。因此，金相分析技术是材料生产及机械加工业中不可缺少的一种分析检验技术。根据专业培养目标的要求，本课程主要讲授金相试样的制备和光学金相技术，适当介绍电子显微分析的基础知识和断口分析的初步知识。

全书共分十章。第一章至第六章主要介绍利用光学金相技术进行宏观和微观分析。包括试样的制备；金相显微镜的原理、构造和使用；金相摄影与暗室技术；偏振光、相衬、微差干涉衬度、高温金相分析的原理及应用；显微硬度测定及非金属夹杂物检验等。第七章简要介绍电子显微分析的原理和应用、电子显微组织图象的识别知识。第八章介绍了断口分析的方法和典型断口的形貌特征。第九章主要讲述定量金相原理、基本测量方法和应用。最后一章简述了金相试验室组成概况。

根据金属热处理专业教学计划及课程大纲要求，本课程应通过课堂教学和金相训练周的操作训练这两个环节来完成。本教材按教学总时数为 65~70 学时编写，其中课堂讲课 50~55 学时（不包括实验课时），金相训练周讲课 12~15 学时（讲授第一、二、三章的部分内容）。为配合其它专业课程的学习和实验，熟悉金相检验的操作技能，金相训练周拟安排在第四学期和第六学期的教学实习期间进行，共两周。要求初步掌握钢铁材料的试样制备、台式和立式金相显微镜的使用、金相摄影和暗室技术等原理和操作技能。课堂教学在第七学期进行，讲授其余内容。为了避免教学内容重复和保持知识的系统性，故将金相操作训练时所需的教学内容和课堂教学用的教材合并编写，在使用本教材时请予以注意。

本书第一、六、十章由咸阳机器制造学校罗黎峰编写，第二、三、四、五、八、九章由河北省机电学校汪守朴编写，第七章由罗黎峰、汪守朴合编。全书由汪守朴主编，福建机电学校郭藩策主审。

在本书的大纲讨论及审稿过程中得到天津职业大学焦泽普、广西机械工业学校邝建新、天津无线机械学校白文钧、山东机械工业学校王献忠、常州铁路机械学校罗广思等同志的大力支持，提出了许多宝贵的意见，编者对此表示衷心的感谢。

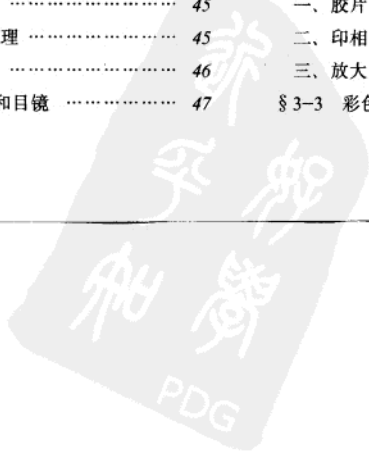
在编写本书时，曾参考和引用了高等专科学校试用教材《金相分析基础》（1986 年版）和其它有关的参考资料及图片，并得到本校和兄弟学校老师及有关单位的支持和帮助，在此一并致谢。

由于编者的学识水平不高，实践经验不多，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

主编
1989 年 2 月

目 录

第一章 金相试样的制备	1	一、物镜	47
§ 1-1 取样与镶嵌	1	二、目镜	55
一、取样	1	§ 2-5 显微镜的照明系统	57
二、镶嵌	3	一、光源及其使用方法	57
§ 1-2 磨光与抛光	6	二、垂直照明器及照明方式	59
一、磨光	7	三、显微镜的光学行程	62
二、抛光	10	四、光阑	63
§ 1-3 金属显微组织的显示	20	五、滤色片	64
一、化学浸蚀法	21	§ 2-6 显微镜的机械系统	65
二、电解浸蚀法	24	§ 2-7 显微镜的调整与使用	65
三、其他显示法	24	一、光源的调整	65
§ 1-4 金相组织的胶膜复型	30	二、测微目镜的校正	66
一、胶膜复型原理	30	三、载物台机械中心的调整	66
二、胶膜复型制作技术	31	四、显微镜的调焦	66
§ 1-5 宏观检验	31	五、油浸系物镜的使用	67
一、热酸浸蚀法	32	§ 2-8 常用金相显微镜	67
二、冷酸浸蚀法	33	一、台式金相显微镜	67
三、硫印试验法	34	二、立式金相显微镜	68
四、常见宏观缺陷的特征及其产生原因	35	三、大型金相显微镜	70
第二章 金相显微镜	37	§ 2-9 金相显微镜的维护保养	72
§ 2-1 几何光学的基本原理	37	一、光学透镜的维护保养	72
一、几何光学基本定律	37	二、机械装置的维护保养	73
二、光的全反射	39	三、操作要点	74
三、光的折射、反射及全反射在金相显微镜中的应用	39	第三章 金相摄影与暗室技术	75
§ 2-2 透镜的成像原理	40	§ 3-1 金相摄影	75
一、透镜的种类	40	一、摄影感光材料	75
二、透镜的成像规律	41	二、照相机的结构和使用	79
三、透镜的象差	43	三、低倍摄影	81
§ 2-3 显微镜的成像	45	四、显微摄影	83
一、显微镜的成像原理	45	§ 3-2 暗室技术	87
二、显微镜的放大率	46	一、胶片的显影和定影	87
§ 2-4 显微镜的物镜和目镜	47	二、印相	92
		三、放大	93
		§ 3-3 彩色摄影	93



一、彩色摄影成色原理	93	四、非金属夹杂物的评定原则	153
二、彩色感光胶片	95	第七章 电子显微分析	155
三、彩色胶片的曝光和冲洗	97	§ 7-1 电子光学基础知识	156
四、彩色印相与放大	99	一、电子的波长	156
第四章 特殊光学金相分析方法	102	二、电子束的聚焦与放大	157
§ 4-1 偏振光金相分析方法	102	§ 7-2 透射电子显微镜	162
一、偏振光基础知识	102	一、透射电镜的主要结构	162
二、偏振光金相分析原理	108	二、透射电镜样品的制备	166
三、金相显微镜的偏振光装置及使用	111	三、透射电镜的成像原理	169
四、偏振光在金相分析中的应用	112	§ 7-3 扫描电子显微镜	178
§ 4-2 相衬金相及微差干涉衬度	116	一、电子束与样品的作用	179
一、相衬金相分析	116	二、扫描电镜的工作原理、构造和性能	181
二、微差干涉衬度(DIC)	123	三、扫描电镜样品的制备	183
§ 4-3 高温金相技术	128	四、扫描电镜的成像原理	183
一、高温真空中金属组织的显示	128	§ 7-4 电子探针 X 射线显微分析	186
二、高温金相显微装置	129	一、X 射线的产生及 X 射线谱	187
三、高温金相装置操作要点	131	二、电子探针仪的工作原理及应用	188
四、高温金相的应用	131	第八章 金属断口分析	192
第五章 显微硬度及其应用	133	§ 8-1 金属断裂的基本概念	192
§ 5-1 显微硬度试验原理	133	一、断裂及断口分析	192
一、显微维氏硬度(HV)	133	二、断裂的类型	193
二、显微努氏硬度(HK)	134	§ 8-2 金属断裂分析的一般方法	195
§ 5-2 常用显微硬度计	136	一、实际机件破损情况的现场调查	195
一、台式显微硬度计	136	二、破损零件的外观检查	196
二、哈纳门型显微硬度计	138	三、断口表面的保护及清洗	196
§ 5-3 显微硬度值的测定及影响因素	139	四、分析断口	197
一、显微硬度值的测定	139	五、其它检查	197
二、显微硬度值的影响因素	140	§ 8-3 断口的宏观分析	197
§ 5-4 显微硬度在金相分析中的应用	143	一、静载荷下的宏观断口形貌	198
第六章 非金属夹杂物的检验	145	二、冲击断口的宏观形貌	200
§ 6-1 非金属夹杂物的分类	145	三、疲劳断口的宏观形貌	201
一、按夹杂物的来源分类	145	四、其它断口的宏观特征	205
二、按夹杂物的化学成分分类	146	§ 8-4 断口的微观分析	207
三、按夹杂物的塑性分类	146	一、韧性断裂断口	208
§ 6-2 非金属夹杂物的鉴定方法	147	二、解理断裂断口	211
§ 6-3 非金属夹杂物的金相鉴定	147	三、准解理断裂断口	214
一、检验非金属夹杂物的试样制备	147	四、疲劳断裂断口	215
二、非金属夹杂物的主要特征	148	五、晶间断裂断口	219
三、非金属夹杂物的鉴定程序	153		

第九章 定量金相	221	测量中的应用	242
§ 9-1 概述	221	一、图象分析仪原理简介	242
§ 9-2 定量测量原理	223	二、图象分析仪的应用	243
一、定量金相用的符号	223	第十章 金相试验室	245
二、基本公式	224	§ 10-1 金相试验室在工厂的地位	245
三、基本测量方法	226	一、金相试验室的任务	245
§ 9-3 显微组织特征参数测量举例	229	二、金相试验室组织及人员配备	245
一、晶粒大小	229	§ 10-2 金相试验室的设备与平面布置	246
二、分散分布的第二相粒子	235	一、金相试验室的设备	246
三、线长度及界面面积	235	二、金相试验室的平面布置	247
四、多相合金中各组成相的相对量	237	§ 10-3 金相试验报告	249
§ 9-4 测量误差与数理统计概念	237	一、金相试验报告的内容和格式	249
一、测量误差的种类	237	二、金相试验报告的管理	252
二、数理统计概念	238	主要参考资料	252
§ 9-5 图象分析仪在金相定量			

第一章 金相试样的制备

金相分析是研究金属材料的组织、并确定微观组织和宏观性能之间关系的一门科学。主要是借助金相显微镜观察、鉴别各种组织，研究成分、组织结构和性能之间的关系，以及它们变化的规律。

金相分析方法包括宏观组织分析和微观组织分析。微观组织分析包括光学金相分析和电子显微分析。进行金相分析，首先应根据检验要求制备试样。若试样制备不当，在进行分析时可能会出现假象，从而会得出错误的结论。因此，金相试样的制备十分重要。本章仅讨论宏观分析和光学金相分析试样的制备方法。

金相试样的制备步骤一般为：取样、镶嵌、标号、磨光、抛光、显示。如果选取的试样形状、大小合适，便于用手握持磨制时，则不必进行镶嵌。如果检验非金属夹杂物或铸铁中石墨，就不必进行浸蚀。总之，应根据检验目的来确定制样步骤。

§ 1-1 取样与镶嵌

一、取样

试样的切取是金相试样制备的第一道工序，若取样不当，则达不到检验目的，因此，取试样的部位、数量和磨面方向应严格按照相应的标准规定进行。

(一) 取样部位、数量和磨面方向的选择

取样部位必须与检验目的和要求相一致，使所切取的试样具有代表性。必要时应在检验报告中绘图说明取样部位、数量和磨面方向。例如，检验裂纹产生的原因时，应在裂纹部位取样，而且还应在远离裂纹处再取样，以资比较；检验铸件时，应在垂直于模壁的横断面上取样，对于厚壁铸件，还应从表面至中心的横断面上取 3~5 个试样，磨制横断面，由表面到中心逐个进行观察比较。

图 1-1 表示锻轧型材金相试样的切取方位，其纵断面（图 1-1 中的 1、2、4、5）主要用于：①检验非金属夹杂物的数量、大小和形状；②检验晶粒的变形程度和锻造纤维组织；③检验钢材的带状组织，以及通过热处理对带状组织的消除程度。横断面（图 1-1 中的 3）主要用于：①检验从表面到中心的金相组织变化情况

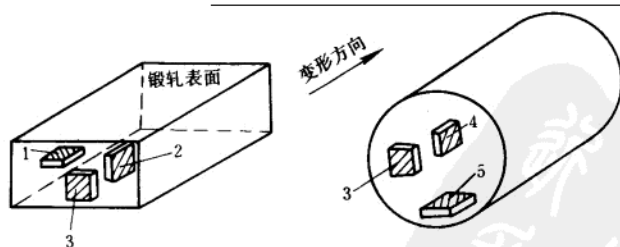


图 1-1 锻轧型材金相试样的切取

1—与锻轧表面平行的纵断面 2—与锻轧表面垂直的纵断面

3—横断面 4—径向纵断面 5—切向纵断面

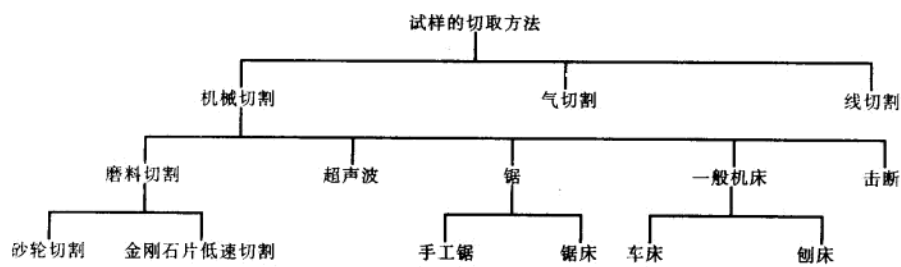
及偏析;②检验表层各种缺陷,如氧化、脱碳、过烧、折叠等;③检验表面热处理结果,如表面淬火的淬硬层,化学热处理的渗碳层、氮化层、碳氮共渗层以及表面镀层等;④检验非金属夹杂物在整个断面上的分布;⑤测定晶粒度等。

一般说来,在进行非金属夹杂物评定时,应磨制纵横两个面;在观察铸件组织、表层缺陷以及测定渗层厚度、镀层厚度、晶粒度等均需磨制横断面;在进行破断(失效)分析时,往往需要切取几个试样,同时磨制纵横两个面进行观察分析。

(二) 取样方法

金相试样一般为 $\phi 12 \times 12\text{mm}$ 的圆柱体或 $12 \times 12 \times 12\text{mm}$ 的立方体。若太小则操作不便,若太大则磨制平面过大,增加磨制时间,且不易磨平。由于被检验材料或零件的形状各异,也可以选用外形不规则的试样。不是检验表面缺陷、渗层、镀层的试样,应将棱边倒圆,防止在磨制时划破砂纸和抛光织物,避免在抛光时试样飞出造成事故。反之,凡检验表层组织的试样,严禁倒角要保持棱角完整,并保证磨面平整。

表 1-1 试样切取方法



取样方法有多种,如表 1-1 所示,可根据取样零件的大小、材料性能、现场实际条件灵活选择。其中最常用的方法是砂轮片切割。一般硬度较低的材料(小于 230HB)如低碳钢、中碳钢、灰铸铁、有色金属等均可用锯、车、刨等机械加工。硬度较高的材料(约大于 450HB)如白口铸铁、硬质合金、以及淬火后的零件等脆性材料,可用锤击法,从击断的碎片中选出大小合适者作为试样。对于大断面零件或高锰钢零件等,可用氧-乙炔焰气割,但须预留大于 20mm 的余量,以便在试样磨制中将气割的热影响区除掉。

不论采用何种方式取样,都须防止因温度升高而引起组织变化,或因受力而产生塑性变形。如淬火马氏体因温度升高而转变为回火马氏体;裂纹因受热而使之扩展;某些低熔点金属如锌、锡等,因受热而出现再结晶;低碳钢、奥氏体类钢和某些有色金属等,因受力易引起塑性变形,使滑移线增多或出现孪晶,诸如此类都能使试样原来的组织发生变化,从而导致错误的检验结论。因此,在取样时务必注意试样的冷却和润滑,特别是采用氧-乙炔气割的试样,一定要磨去热影响区。

(三) 试样的热处理

经取样而获得的试样,有的可直接进行磨制,有的尚需进行热处理后才能磨制。如检验金属的晶粒度、非金属夹杂物、碳化物不均匀度等项目的试样,往往需要热处理。其热处理工艺规程可按相应标准的规定执行。

1. 显示试样晶粒度的热处理

根据 GB6394—86 金属平均晶粒度测定法的规定，如要显示铁素体钢的奥氏体晶粒度，可根据材料不同分别采用渗碳法、网状铁素体法、氧化法、网状渗碳体法、网状屈氏体法和直接淬火硬化法等；对奥氏体钢的晶粒显示，一般可不处理直接浸蚀，如需要时可采用敏化处理后再显示。其具体热处理工艺可参照上述标准。

2. 非金属夹杂物试样的热处理

检验非金属夹杂物的试样，一般都经淬火热处理，淬火后钢的硬度增高，减少了非金属夹杂物与基体金属之间的硬度差，使试样在磨制时可避免夹杂物脱落，保证磨制质量。

3. 碳化物不均匀度试样的热处理

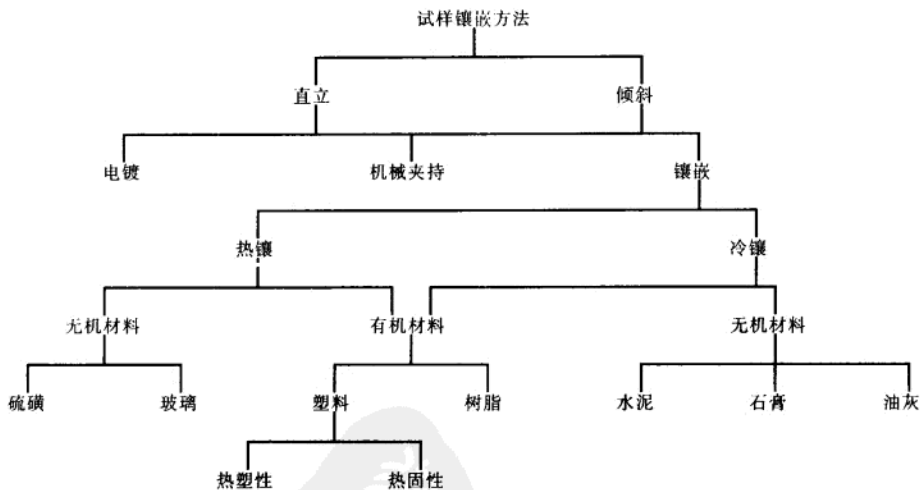
检验碳化物不均匀度的试样，须经淬火和高温回火，浸蚀后使基体呈暗黑色，而碳化物呈白亮色，利于鉴别。

二、镶嵌

当需检验的材料为丝、带、片、管等尺寸过小或形状不规则的试样时，由于用手不便握持，常采用镶嵌的方法，来获得尺寸适当、外形规则的试样。在检验表层组织时，为防止磨制试样过程中产生倒角，也常采用镶嵌方法。此外，随着试样制备过程逐渐趋于自动化，要求试样外形规格化，也只能通过镶嵌来实现。

试样镶嵌的方法如表 1-2 所示。其中常用的是有机材料镶嵌法和机械夹持法。一般在取样后用砂轮机、锉刀或粗砂纸将磨面修平，就可进行镶嵌。

表 1-2 试样镶嵌方法



1. 机械夹持法

在机械夹持法中，常见的几种机械夹持器如图 1-2 所示。它适用于检验表层组织的试样，磨制时不易产生倒角。夹持器与试样间的垫片多用铜、铝等薄片（厚 0.5~0.8mm），垫片的电极电位应高于试样，才能不被浸蚀。夹具材料可用低、中碳钢，其硬度应略高于试样，以免磨制时产生倒角，保证磨面平整。

2. 有机材料镶嵌法

常用以下两类：一类是利用环氧树脂等物质，在室温进行镶嵌，属于冷镶；另一类是在专用镶嵌机上加压、加热进行镶嵌，属于热镶。

(1) 环氧树脂镶嵌 主要材料为环氧树脂加固化剂等组成。镶嵌时的作用如下：

环氧树脂+固化剂=聚合物+热。

固化剂是胺类化合物，其用量应适当。用量过多易使树脂变脆，用量过少，则不能充分固化，故一般固化剂的用量约占总量的 10%。常用的几种配方如表 1-3 所示。

加入耐磨填料是为了提高镶嵌材料的硬度和耐磨性，可用氧化铝、碳化硅以及铸铁屑、石英、水泥等作为填料。对于保护试样边缘防止倒角特别有利。

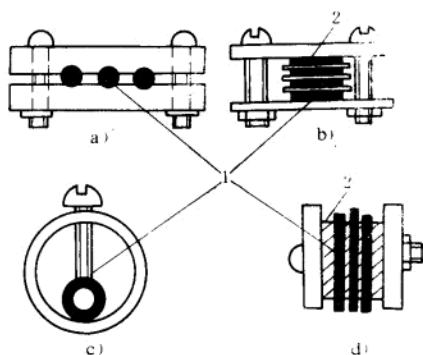


图 1-2 机械夹持方法

1—试样 2—垫片

表 1-3 常用环氧树脂镶嵌配方

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	较软及中等硬度的金属材料
	磷苯二甲酸二丁脂	15	60℃, 4~6	
	二乙醇胺 (或乙二胺)	10		
2	618 环氧树脂	100	室温, 24	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	120℃, 10	
	二乙醇胺	13	150℃, 4~6	
3	6101 环氧树脂	100	室温, 24	高硬度试样或氢化层试样
	磷苯二甲酸二丁脂	15	80℃, 6~8	
	间苯二胺	15		
	氧化铝或碳化硅粉 (40μm)	适量		

镶嵌时首先将欲镶嵌的试样磨面磨平，置于光滑平板上，外部套以适当大小的套管。然后，按配方顺序准确称量，搅拌均匀成糊状后浇注，凝固即成。

套管可以是钢管、铜管、铝管等，也可以是塑料管。它可以是一次性消耗的，也可以重复使用。若重复使用时，应在套管和平板上涂一薄层油脂，则便于将镶嵌试样顶出。也有使用可拆式塑料模的，如图 1-3 所示。塑料模的材料常用硅橡胶和聚四氟乙烯塑料等。

在选用上述各种配方时，可将前两种材料预先配好贮存备用，使用时再将乙二胺和耐磨填料等加入。

对于表面薄层组织，如渗层、镀层、变形层、扩散层等，由于太薄不易观察和测量，可采用倾斜截面来增加观察厚度，图 1-4 为倾斜镶嵌示意图，被观察试样借助于垫块倾斜置于

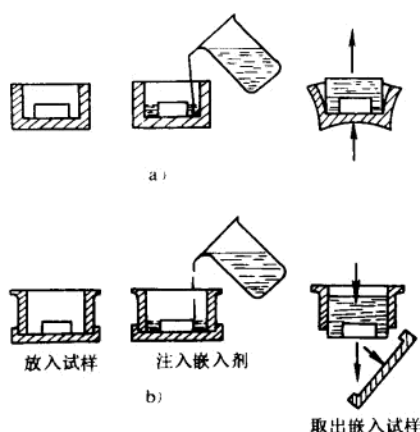


图 1-3 冷镶用可拆式塑料模示意图

a) 软塑料模 b) 硬塑料模

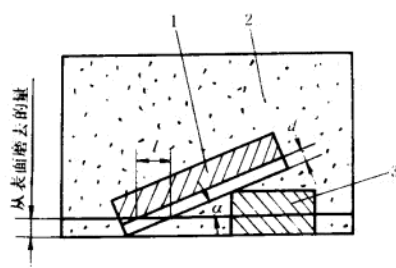


图 1-4 倾斜镶嵌示意图

1—试样 2—镶嵌材料 3—垫块

塑料模中，其倾斜角为 α ，若薄层真实厚度为 d ，观察到的倾斜镶嵌的薄层厚度为 l ，则 $\sin\alpha = d/l$ ，当 $\alpha = 5.7^\circ$ 时，则 $d = 0.1l$ ，便可求得薄层的实际厚度。

环氧树脂适用于大批量试样的镶嵌，可预先配制，操作迅速简便，无需专用设备，但因固化缓慢，约需 6~24h 后才能磨制，而且易因受热而软化，因此对于较硬的材料和热敏感性不高的材料，大都采用热镶嵌法，即用镶嵌机进行镶嵌。

(2) 镶嵌机镶嵌 是在专用金相试样镶嵌机上进行镶嵌，镶嵌机主要由加热器、加压机构和压模装置等组成，如图 1-5 所示。

镶嵌用塑料有热固性和热塑性塑料两大类：热固性塑料，如胶木粉（电木粉），成分为酚-甲醛树脂或酚-糠醛树脂，不透明、有多种颜色，镶嵌金相试样多用黑色或棕色，这种塑料质地较硬，但抗酸碱侵蚀能力较差，镶嵌时在压模内加压，加热至 130~150℃，保温约 15min 后冷却至 70℃ 脱模即成；热塑

性塑料成分为聚氯乙烯或醋酸纤维树脂等，它们是透明或半透明的塑料，与有机玻璃类似，质地较软，但抗酸碱侵蚀能力较强，镶嵌时还需加压、加热，加热温度一般为 140~170℃。

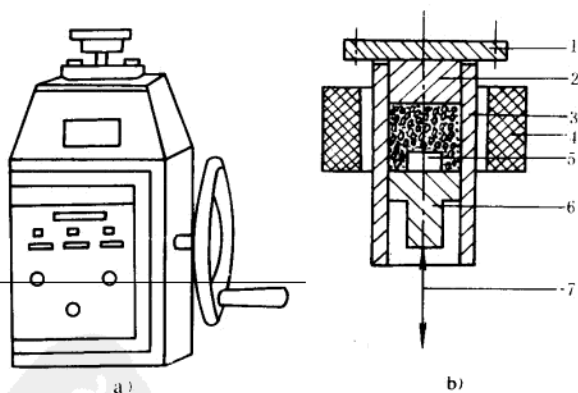


图 1-5 XQ-2 型镶嵌机

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

由于成型过程无变质反应，再次加热又能软化，因此可以回收再用。据此，可获得线材、薄片材料垂直于切面的金相磨面，制作方法是利用热塑性塑料预压成型，再沿纵向锯开，放入试样后再最后镶嵌成型。

在镶嵌机上进行镶嵌时，亦可加入耐磨填料，如氧化铝、碳化硅等，增加硬度和耐磨性。对于淬火马氏体组织的试样不宜采用热镶嵌，因加热时可能发生组织变化；对于极软的金属及合金，如铅、锡、轴承合金等，因加压易引起塑性变形，也不宜采用镶嵌机。

对于电解抛光试样的镶嵌，可加入银、铜等金属填料，使之具有导电性，或者在试样上焊一导线引出后再进行镶嵌。

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，或在采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、内容以及检验结果等项目。当试样无法标号时，则可在试样袋上按其形状特征画出简图，以示区别。

§ 1-2 磨 光 与 抛 光

金相试样经过切取、镶嵌后，还要进行磨光、抛光等工序，才能获得表面平整光滑的磨面。图 1-6 表示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。

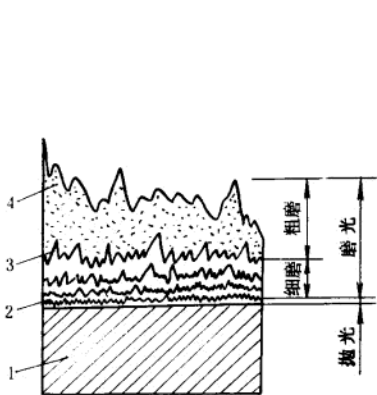


图 1-6 金相试样在磨光抛光时磨面的变化示意图

1—试样 2—细磨痕 3—粗磨痕 4—切割痕

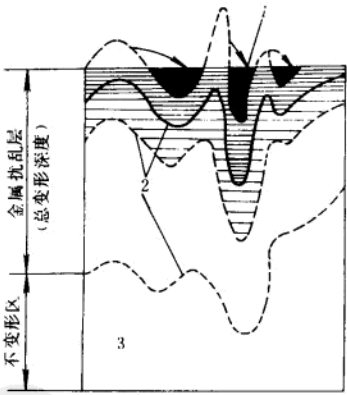


图 1-7 金相试样在磨光抛光中的微观变化

1—高度变形玷污区 2—等变形轮廓线 3—不变形区

图 1-7 表示金相试样在制备中磨面的微观变化，图上的黑色区是磨痕的凹陷处已被原来凸起部分的磨屑所填平，这些是严重变形的粉末金属与磨料的混合物，形成了高度变形玷污区（污染区）。深入试样内部，其变形程度逐渐减小，形成等变形轮廓线，它平行于粗磨轮廓线，因此构成金属扰乱层（紊乱层）。金属扰乱层深度等于磨痕深度加等变形区深度。若抛光后未完全消除金属扰乱层，则浸蚀后在金相显微镜下就观察不到真实组织而出现假象，

故磨光和抛光是试样制备中极为重要的两道工序。

一、磨光

磨光的目的是得到平整光滑的磨面。磨面上允许有极细而均匀的磨痕，此磨痕在以后的抛光中消除。磨光分粗磨和细磨两种方法。

(一) 粗磨

粗磨是将取样所形成的粗糙表面和不规则外形的试样修整成形，再根据检验目的确定磨面方向（纵、横面），并将其修整平坦。粗磨可采用手工操作或机械操作，手工操作适用于较软的有色金属及其合金。一般用锉刀或粗砂纸修整外形和磨面，而不能使用砂轮机，因为软金属容易堵塞砂轮空隙，使砂轮变钝，并且使试样表面变形层加厚。机械操作适用于较硬的钢铁材料，可在砂轮机、砂带或磨床上进行修整。砂轮机应是专用砂轮，不能用于其它工具的磨削，否则砂轮侧面不平，粗磨后试样磨面也不平整。一般在砂轮圆周内修整外形，在砂轮侧面修整磨面。

使用砂轮机粗磨时，必须注意接触压力不可过大，试样需冷却，防止受热而引起组织变化。若压力过大，可能使砂轮碎裂造成人身和设备事故，而且极易使磨面温度升高影响组织，并使磨痕加深，金属扰乱层增厚，给细磨抛光造成困难。粗磨后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。

(二) 细磨

细磨是消除粗磨留下的较深磨痕，为抛光工序作准备，一般可分手工细磨和机械细磨两种。

1. 手工细磨

手工细磨是在由粗到细的各号金相砂纸上进行。砂纸上涂有碳化硅或氧化铝微粉。将砂纸平铺在玻璃板、金属板、塑料板、或木板上，一手紧压砂纸，另一手平稳地拿住试样，将磨面轻压在砂纸上向前平推，然后提起、拉回，在拉回时试样勿与砂纸接触。不可来回磨削，否则磨面易成弧形，得不到平整的磨面。

图 1-8 所示是用四种不同粗细的金相砂纸磨光表面时，表面变形层的消除过程，I 为严

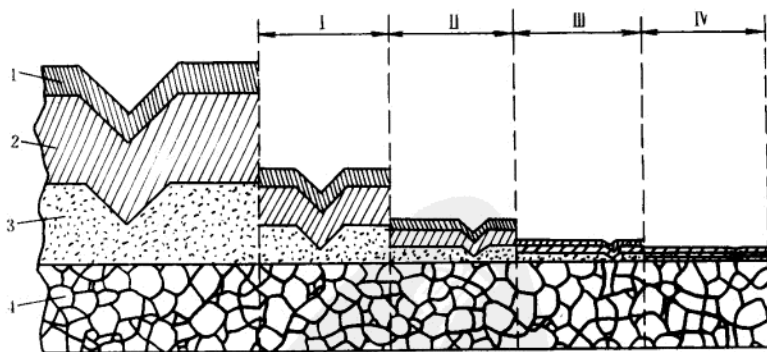


图 1-8 砂纸磨光表面变形层消除过程示意图

I—第一步磨光后的变形层 II—第二步磨光后的变形层

III—第三步磨光后的变形层 IV—第四步磨光后的变形层

重变形层，2 为变形较大的层，3 为变形微小层，三者之和是总变形层，4 为无变形的原始组织。

金相砂纸的规格，如表 1-4 所示。

表 1-4 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			

所谓磨料微粉的粒度号，是按规定用目或粒度表示，它们是指标准筛网上每英寸长度上筛孔的数目。

手工细磨时应注意：

1) 每更换一号砂纸时，需要将试样和双手洗净，并转 90° 与旧磨痕垂直磨制，转动的目的是为了能看清上一道磨痕是否完全去掉，而且有利于去掉上一道磨制时产生的变形层，使磨面保持平整。

2) 磨制时压力不可太大，以免产生过深的磨痕，或使磨面温度升高引起组织变化。

3) 磨制较软的有色金属材料时，应加滑润剂，以免砂粒嵌入软金属表面，减少表面撕裂现象。常用的滑润剂有煤油、汽油、机油，或石蜡汽油溶液、甘油 5% 水溶液以及肥皂水溶液等。当砂纸磨粒变钝后，磨削作用减小，需及时更换新的砂纸，否则砂粒与磨面会产生滚压作用，使变形层增厚，因此旧砂纸虽未撕破，也不宜继续使用。

4) 凡磨制过硬材料的砂纸，不能再来磨制软材料，以免硬的微粒嵌在软材料上，造成很深的划痕，抛光时难以除掉。

目前在细磨工序中的干磨法已逐渐被湿磨法所代替。湿磨法就是在细磨时有流动水通过砂纸，其优点是：

① 流动水能及时将大部分磨屑及脱落的磨粒冲走，以免磨屑堵塞磨粒空隙，使磨削过程变钝，并可防止磨粒嵌入试样表面而造成假象。② 流动的水是良好冷却剂可防止磨面发热。③ 水磨法改善了操作条件。

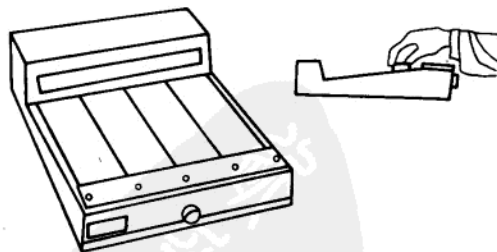


图 1-9 手工湿磨设备外观示意图

湿磨时必须使用水砂纸，砂纸磨粒与纸基的粘结剂均不溶于水，不会使磨粒脱落。它使用 SiC 磨粒。图 1-9 为手工湿磨设备

外观示意图,四种不同标号的砂纸面朝上向前倾斜(从操作者看),分别贴附或压紧在底板上,由小孔进入的水流在砂纸上流过。整个细磨工序可以在同一设备上完成。

2. 机械细磨

机械细磨常用预磨机、蜡盘或磨光膏等来加快细磨过程。

(1) 预磨机细磨 是把由粗到细的各号水砂纸置于旋转圆盘上,加水润滑兼冷却。试样磨面轻压在水砂纸上,沿圆盘径向移动并与旋转方向作反向轻微转动,待粗磨痕完全消除,新磨痕一致后即可。

国产预磨机有 M-2 型,它有两个直径为 230mm 的旋转圆盘。通常把两台预磨机组合使用,可在四个盘子上选用粒度不同的水砂纸进行磨制。使用预磨机细磨可提高制样速度,在 3~5min 内可完成细磨工序。操作时应注意安全,防止试样飞出,并遵守手工细磨的注意事项。

常用的水砂纸有 180、240、320、400、500、600、800、1000 号等,预磨时可选择粒度不同的几种砂纸。当预磨结束后,将砂纸刷洗、晾干,下次使用前再浸入水中,待平整后使用。

在机械湿磨设备上,再配以适当的试样夹持器,还可使磨光过程自动化,图 1-10 所示为自动湿磨机结构示意图,在抛光盘上有试样夹持器,它安装于支架上,支持器下端带顶尖部分与试样接触,上端可放配重,具有一定压力,当抛光盘转动时夹持器也转动。自动湿磨能够提高效率、节省砂纸,又能保证细磨质量。

国外生产的一种自动磨光机,机内装有电子计算机,可对磨光过程进行程序控制,连续进行五道磨光工序,磨完后自动停车。可同时磨制数块试样,整个磨光过程在 3~6min 内完成,磨制质量高。

(2) 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),约 5~10mm 厚,待冷却后刮平即可使用。蜡盘数量按磨料粗细选择 2~3 个。

蜡盘平面易损坏,可用熔化的石蜡修补,再用车削附件修整平坦。车削附件如图 1-11 所示,由横杆、滑块、车刀等组成。车刀用螺钉固定在滑块上,滑块套在横杆上,横杆靠在(或卡在)蜡盘外圈上。当蜡盘转动时,沿径向缓慢移动滑块,即能车得平坦表面。

由于石蜡有润滑作用,又具有一定强度,磨料嵌入时,露出部分的刃口起磨削作用,在磨料与磨面之间无滚压作用,故金属变形层较小。

与其它细磨相比,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、有色金属以及检验石墨和非金属夹杂物的试

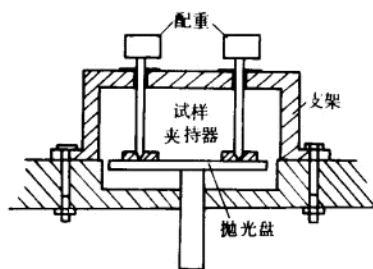


图 1-10 自动湿磨机结构示意图

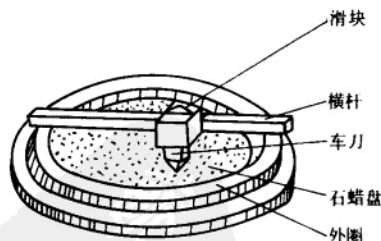


图 1-11 石蜡盘车削附件

样。

常用蜡盘的配方:

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。

(3) 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

经加热搅拌均匀后装入容器,或用油纸包装,使用时涂在抛光布上,抛光布是浸过煤油的细帆布。按磨料粒度预先制做 2~3 种磨光膏,如粒度为 200, 400, 600 等贮存备用。能代替蜡盘获得良好的磨光效果。

二、抛光

抛光是金相试样磨制的最后一道工序,目的是消除试样细磨时所留下的细微磨痕,得到平整的镜面。理想的抛光面应是平整、光亮无痕、无浮凸、无蚀坑、无金属扰乱层,而且石墨及非金属夹杂物无脱落,无曳尾现象等。磨面抛光的质量取决于细磨时所留磨痕的粗细和均匀程度。因为抛光后仅能去掉表面极薄一层金属,若磨面上磨痕粗细不均,一味增长抛光时间,也得不到理想镜面,所以只有重新细磨,使整个磨面都得到均匀一致单方向的细微磨痕后,再进行抛光。

按抛光方式可分为机械抛光、电解抛光、化学抛光和复合抛光等几种。

(一) 机械抛光

机械抛光目前应用最广,是在专用金相抛光机上进行。细磨后的试样冲洗后,将磨面置于抛光盘上抛光。按抛光微粉粒度分为粗抛与精抛。粗抛时所用抛光微粉颗粒直径为 1~6 μ m,精抛时其直径为 0.3~1 μ m。对较软的有色金属材料,必须经过粗抛与精抛才能获得较理想的抛光面,但对钢铁材料,按检验目的不同,一般经过粗抛即可。

1. 机械抛光设备

金相抛光机目前国产有单盘 P-1 型,双盘 P-2 型两种,由电动机 (0.18kW) 带动抛光盘旋转,转速为 1350r/min,抛光盘用铜或铝制成,直径为 200~250mm。使用时将抛光布固定在抛光盘上,洒以 15% 抛光粉悬浮液,抛光盘旋转后将洗净的试样磨面轻压在盘子中心附近,沿径向从中心到盘边往复缓慢移动,并且逆旋转方向轻微转动。

普通抛光机均需人工握持试样操作,效率较低,劳动强度大,不适应大批量试样制备的需要,因此要求抛光设备向半自动、全自动高效率方向发展。目前,使用夹具能同时夹持几个或十几个试样,在一定压力下进行抛光的半自动抛光机或全自动抛光机、振动抛光机等在国内外已有使用。图 1-12 所示为单试样小型自动抛光机,它有一个静止不动的塑料抛光盘,砂纸或抛光织物粘在玻璃板上并固定在抛光盘内,上面再添加润滑剂(湿磨时)或糊状

磨料（抛光时）。试样由抛光臂带动并按一定轨迹在抛光盘上运动，如图 1-12b 所示。抛光臂上的压力可根据需要调节，在预定抛光时间内，压力将逐渐自动减少到零。抛光臂的速度也可以调节。每道工序约需 2~5min，适用于各种材料的抛光，而且可细磨、抛光两用。

半自动抛光机一般是具有一个特殊夹具，如图 1-13 所示，试样可镶嵌也可不经镶嵌直接装在夹具上，夹具由另一电动机带动，其转动方向与抛光盘相反。夹具与抛光盘之间的压力可以调节。当达到预定抛光时间后，夹具自动抬起并停车。这种夹具能适应各种形状的试样，抛光质量高。

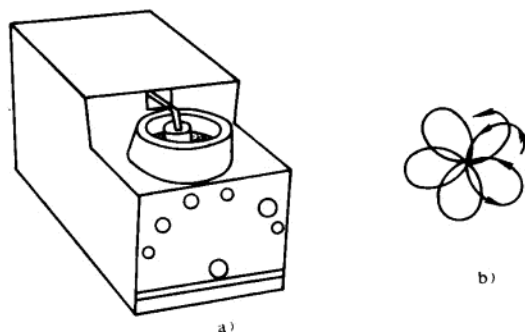


图 1-12 单试样小型自动抛光机

a) 外观图 b) 试样运动轨迹示意图

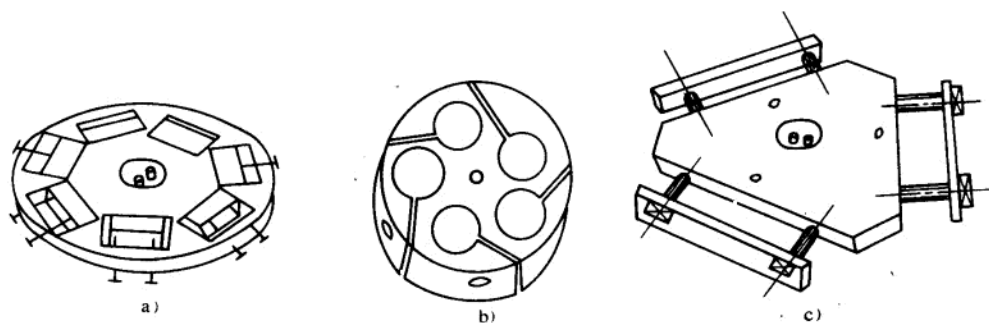


图 1-13 半自动抛光机夹具示意图

图 1-14 所示为导槽式抛光机结构示意图，此种抛光机有一个低速（18r/min）转动的抛光盘，盘上方有一个导板，试样放在导板的导槽内，试样受到抛光盘的摩擦力和导槽的反作用力，使试样沿抛光盘半径方向的线速度不同，故试样在绕其自身旋转的同时，还沿导槽不停地运动。此种抛光机由于试样运动速度不快，可以在抛光过程中随意取出或放入试样，并不影响其它试样继续抛光。它可以同时抛光十几块试样，完成细磨抛光两道工序，效率高。

2. 机械抛光原理

机械抛光是抛光微粉与磨面间的相对机械作用使磨面变成光滑镜面的过程，其主要作用有：

(1) 磨削（切削）作用 抛光微粉嵌入抛光织物纤维中，暂时被织物纤维所固定，露出

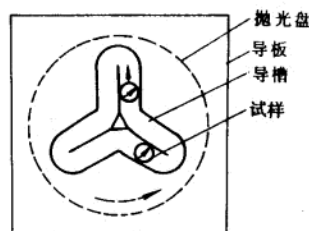


图 1-14 导槽式抛光机结构示意图