

高等专科学校试用教材

金相分析基础

汪守朴 主编

机械工业出版社

GAOZHUANJIAOCAI

高等专科学校试用教材

金相分析基础

汪守朴 主编

机械工业出版社

金相分析基础

汪守朴 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 13 · 字数 315 千字

1986年6月北京第一版·1986年6月北京第一次印刷

印数 0,001—6,700 · 定价 2.25 元

*

统一书号: 15033 · 6259

前 言

《金相分析基础》是高等专科学校金属热处理专业试用教材。是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生、学制为三年的教学计划组织编写的。本书可供职工大学、业余大学有关专业教学参考,中等专业学校也可选用。并可供从事金相检验、金属热处理的工程技术人员参考。

全书共分八章。第一章至第四章介绍光学金相技术,包括金相试样制备;金相显微镜的原理、构造及使用;金相摄影及暗室技术;特殊金相技术(偏光、相衬、显微硬度等)。第五章简要介绍了电子显微分析的基础知识。第六、七、八章分别介绍金属断口分析、定量金相和金属无损探伤知识。

根据金属热处理专业教学计划的要求,本课程主要讲授光学金相技术和电子显微分析的基础知识。但因不单独开设《金属机械性能》、《金属无损探伤》等课程,而将有关的基本内容合并在本课程中,因此本教材涉及的面较广。根据教学大纲规定,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。课程教学总学时为60,其中课堂教学46学时,金相训练周讲课14学时(讲授第一、二、三章的部分内容)。为配合其他专业课的开设,金相训练周拟在第三学期进行,要求学生初步掌握钢铁金相试样制备、台式金相显微镜使用、金相摄影和暗室技术等操作技能与感性知识;课堂教学在第五学期进行,讲授其余内容。为了避免教学内容重复和保证知识的系统性,故将金相训练中所需的教材和课堂教学用的教材合并编写,使用本教材时请予以注意。

本书第一章由罗黎峰编写,第二章由苏自中编写,第五章由金雪芷编写,第三、四、六、七、八章由汪守朴编写。全书由汪守朴主编,由郭涤策主审。

在本书编审过程中得到许多院校、工厂、科研单位的大力帮助,谈育煦、顾敦清、沙建铎等提供了部分金相照片,在此一并致谢。

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

目 录

第一章 金相试样的制备	1	一、台式金相显微镜	50
§ 1-1 取样和镶嵌	1	二、立式金相显微镜	50
一、取样	1	三、大型金相显微镜	52
二、镶嵌	3	§ 2-6 金相显微镜的维护保养	53
§ 1-2 磨光与抛光	5	一、光学镜头的维护保养	53
一、磨光	5	二、机械装置的维护保养	54
二、抛光	8	三、操作要点	55
§ 1-3 金属显微组织的显示	16	第三章 金相摄影与暗室技术	56
一、化学显示法	17	§ 3-1 金相摄影	56
二、电解显示法	20	一、摄影感光材料	56
三、其他显示法	20	二、显微摄影	59
§ 1-4 金相组织的胶膜复型	24	三、低倍与实物摄影	62
一、胶膜复型的原理	24	§ 3-2 暗室技术	63
二、胶膜复型制作技术	24	一、胶片的显影和定影	63
§ 1-5 宏观检验	25	二、印相	67
一、热酸浸蚀法	26	三、放大	68
二、冷酸浸蚀法	27	§ 3-3 彩色摄影简介	68
三、硫印试验法	27	一、彩色摄影的基本原理	69
第二章 金相显微镜	29	二、彩色感光胶片	69
§ 2-1 显微镜的成像原理	29	三、彩色胶片的曝光和冲洗	71
一、透镜	29	四、彩色印相与放大	73
二、显微镜的成像原理	33	第四章 特殊光学金相分析与显微硬	
§ 2-2 显微镜的物镜和目镜	34	度测定	75
一、物镜	34	§ 4-1 偏振光在金相分析上的应用	75
二、目镜	40	一、偏振光基础知识	75
§ 2-3 显微镜的照明系统	42	二、偏振光金相分析原理	80
一、光源及其使用方法	42	三、金相显微镜的偏光装置及使用	82
二、照明方式及照明器	44	四、偏振光在金相分析中的应用	84
三、光阑	47	§ 4-2 相衬金相及微差干涉衬度	86
四、滤色片	47	一、相衬分析	86
§ 2-4 显微镜的调整	48	二、微差干涉衬度(DIC)	92
一、光源位置的调整	48	§ 4-3 高温金相显微装置	95
二、测微目镜的校正	48	一、高温金相显微装置的结构	96
三、物镜实际放大倍数的校正	49	二、高温金相装置操作要点	97
四、载物台机械中心的调整	49	§ 4-4 显微硬度及其测定	98
五、显微镜的调焦	49	一、显微硬度值	98
§ 2-5 常用金相显微镜	49	二、显微硬度计及其使用	100

三、显微硬度值的影响因素	103	一、解理断裂断口	155
第五章 电子显微分析	104	二、韧性断裂断口	158
§ 5-1 电子光学基础知识	104	三、准解理断口	160
一、电子的波长	104	四、疲劳断裂断口	161
二、电子束的聚焦与放大	105	五、晶间断裂断口	165
§ 5-2 透射电子显微镜	110	第七章 定量金相简介	166
一、透射电镜的主要结构	110	§ 7-1 定量测量原理	166
二、透射电镜试样的制备	114	一、基本符号	166
三、透射电镜的成象原理	118	二、基本公式	167
§ 5-3 扫描电子显微镜	128	三、基本测试方法	170
一、电子束与试样的作用	128	§ 7-2 显微组织特征参数测量举例	172
二、扫描电镜的构造及性能	130	一、晶粒大小测量	172
三、试样的制备	132	二、粒子间距测量	174
四、扫描电镜的成象原理	132	三、线长度及界面面积测量	175
§ 5-4 电子探针 X 射线显微分析	135	四、多相合金中各组成相相对量的测定	176
一、X 射线的产生及 X 射线谱	135	§ 7-3 图象分析仪在金相定量测试中	
二、电子探针仪的工作原理及应用	137	的应用	177
第六章 金属断口分析	141	一、图象分析仪原理简介	177
§ 6-1 金属断裂的基本概念	141	二、图象分析仪的应用	178
一、断裂及其分析	141	第八章 金属无损探伤基础	179
二、断裂的类型	141	§ 8-1 磁粉探伤	179
§ 6-2 金属断裂分析的一般方法	144	一、磁粉探伤原理	179
一、实际构件破损情况的现场调查	144	二、磁粉探伤过程	180
二、断口表面的保护及清洗	144	§ 8-2 超声波探伤	188
三、分析断口	145	一、超声波基本知识	188
四、其他检查	145	二、超声波探伤方法及应用	192
§ 6-3 断口的宏观分析	145	三、电磁超声探伤简介	196
一、静载荷下的宏观断口形貌	146	§ 8-3 射线探伤	197
二、冲击断口的宏观形貌	148	一、射线探伤原理	197
三、疲劳断口的宏观形貌	148	二、射线探伤方法	198
四、其他断口的宏观特征	153	主要参考资料	202
§ 6-4 断口的微观分析	155		

第一章 金相试样的制备

金相分析是根据有关标准和规定来评定金属材料质量的一种常规检验方法；并可用来判断零件生产工艺是否完善，有助于寻求零件产生缺陷原因。因此，它也是生产和科研中必不可少的一种手段。

进行金相分析，首先应根据各种检验标准和规定制备试样。若制备不当，则可能出现假象，从而得出错误的结论，因此金相试样的制备十分重要。

通常金相试样的制备步骤：取样、镶嵌、标号、磨光、抛光、显示。但并非每个金相试样的制备都必须经历上述步骤。如果选取的试样形状、大小合适，便于握持磨制，则不必进行镶嵌；如果检验金属材料中的非金属夹杂物或铸铁中的石墨，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 取样和镶嵌

一、取样

取样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，所取试样的部位、数量、磨面方向等应严格按照相应的标准规定执行。

(一) 取样部位和磨面方向的选择

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单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，对于大型铸件，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 表示轧制型材金相试样的切取方位，一般纵断面

(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；(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；(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铬、镀铜层等；(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

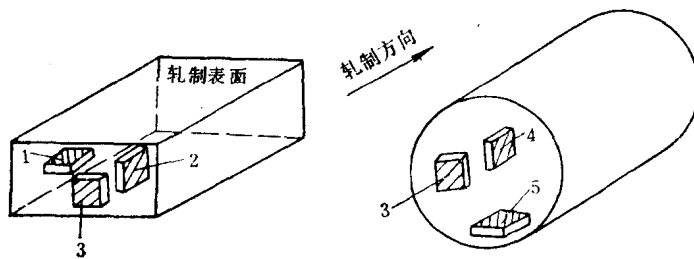


图1-1 轧制型材金相试样的切取

1—与轧制表面平行的纵断面 2—与轧制表面垂直的纵断面
3—横断面 4—放射纵断面 5—切向纵断面

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）综合分析时，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，增长磨制时间且不易磨平。由于被检验材料或零件的形状各异，也有用不规则外形的试样。非检验表面缺陷、渗层、镀层的试样，应将棱边倒圆，防止在磨制中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，检验表层组织的试样，严禁倒角并应保证磨面平整。

切取试样时根据被检验材料的软硬程度采取不同的方法。一般硬度较低的材料，如低碳钢、中碳钢、灰口铸铁、有色金属等均可用锯、车、刨、铣等机械加工。硬度较高的材料，如白口铸铁、硬质合金等脆性材料，以及经淬火后的零件，可用锤击法，从击碎的碎片中选出大小适当者作为试样。韧性较高的材料可用切割机切割。对于大断面零件或高锰钢零件等也可采用氧乙炔焰气割，但须预留大于 20 mm 的余量，以便在试样磨制中将气割的热影响区除掉。

目前广泛使用的国产 Q-2 型金相切割机，它是由电动机、薄片砂轮、试样夹具和冷却装置等组成。薄片砂轮尺寸为 $\phi 250 \times 2 \times 32 \text{ mm}$ ，以氧化铝或碳化硅为磨料，用树脂胶合而成，安装在电动机主轴上，转速为 2800 r/min ，切割时喷水冷却。一般软砂轮用于切割硬材料，硬的砂轮用于切割较软的材料。

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；裂纹处因受热而使其扩展；某些锌、锡等低熔点金属，因受热而使其再结晶；低碳钢、奥氏体类钢和某些有色金属等，因受力而引起塑性变形，使滑移线增多或出现形变孪晶，诸如此类都使试样原来的组织发生变化，从而导致错误的检验结论。因此在取样中务必注意冷却和润滑，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

经取样而获得的金相试样，有的可直接进行磨制，有的尚需热处理后才能进行磨制，如检验钢的本质晶粒度，非金属夹杂物，碳化物不均匀度等项目的试样，需经热处理，其处理规程按相应标准中规定执行。

1. 本质晶粒度试样的热处理

钢的本质晶粒度表示钢材在加热、保温过程中晶粒长大的倾向。它是将钢材在 $930 \pm 10^\circ \text{C}$ 加热并保温 $3 \sim 8 \text{ h}$ 后，按奥氏体晶粒大小来衡量。由于钢种不同，热处理方法各异。

（1）渗碳法 用于低碳钢。它是将试样置于渗碳介质中，加热至 $930 \pm 10^\circ \text{C}$ 保温 8 h ，得到不小于 1 mm 的渗碳层，缓冷至 600°C 出炉空冷，形成沿晶界连续分布的网状渗碳体，表示出奥氏体晶粒的大小。在实验室中常用固体渗碳法进行渗碳。

（2）网状铁素体法 常用于中碳钢。它是将试样加热至 $930 \pm 10^\circ \text{C}$ 保温 3 h 后，移入 $730 \pm 10^\circ \text{C}$ 的盐浴炉或空气炉中，等温 10 min 后淬火，再经 600°C 左右回火。以期在晶界上形成铁素体网，晶粒内部为回火索氏体组织，从而可反映出奥氏体晶粒的大小。

（3）网状屈氏体法 常用于共析钢。它是将 $\phi 5 \times 40 \text{ mm}$ 的试样加热至奥氏体状态后保温，再将其一端淬入水中。沿试样纵剖面磨制，在金相显微镜下，能观察到过渡区的奥氏体

晶界上有黑色的网状屈氏体，晶粒内部为马氏体组织。

(4) 网状渗碳体法 用于过共析钢。它是将含碳量大于 0.9% 钢的试样，经完全奥氏体化后缓冷，使渗碳体沿晶界析出而形成网状。

(5) 氧化法 是将经过磨制抛光后的试样，在无氧化条件下使其奥氏体化，保温后使抛光面短时间氧化后再淬火，因晶界易氧化，若用 15% 盐酸溶液浸蚀，或经 4% 苦味酸酒精溶液浸蚀，就可显示出黑色晶界。氧化法有多种，如有：

木炭氧化法：将抛光试样用木炭覆盖，加热至 930℃ 保温 3 h 后再将木炭抖掉，在炉膛中氧化 5 min 后淬入水中冷却。

真空氧化法：将抛光试样在真空中或惰性气体（氩、氮）中加热至 930℃ 保温 3 h 后，再通入空气，经 30~60 s 短时间氧化，最后淬入水中冷却。

热浸氧化法：将抛光试样在预先脱氧良好的盐浴中加热至 $930 \pm 10^\circ\text{C}$ 保温 3 h，再将试样移入具有弱氧化作用的盐浴中浸蚀，浸蚀温度仍为 $930 \pm 10^\circ\text{C}$ ，浸蚀时间为 2~5 min，取出淬入油中冷却，最后用水清洗、吹干，置于金相显微镜下观察。

(6) 直接浸蚀法 将切取的试样加热至奥氏体化后淬火，再制备成金相试样，采用强烈浸蚀剂，使原奥氏体晶界浸蚀变黑，而基体组织仅受轻微浸蚀，在金相显微镜下显示出原奥氏体晶粒。此种方法设备简单，操作方便，但不同钢种，浸蚀剂的成分、温度与浸蚀时间各异，需经试验后选择最佳浸蚀参数。

2. 非金属夹杂物试样的热处理

检验非金属夹杂物的试样，一般都经淬火处理，使其硬度增高便于磨制、抛光。

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，浸蚀后使基体呈黑色而碳化物呈白亮色，利于鉴别。

二、镶嵌

当金相检验的材料为丝、带、片、管等尺寸过小或形状不规则的试样，由于不便握持，可采用镶嵌的方法，得到尺寸适当，外形规则的试样。当检验试样的表层组织时，为防止在磨制中产生倒角，也可采用镶嵌。一般在取样后用锉刀或砂轮将磨面修平，就可进行镶嵌。常用的镶嵌方法有机械夹持法，塑料镶嵌法和低熔点合金镶嵌法等。

1. 机械夹持法

机械夹持法中常见的几种机械夹持器如图 1-2 所示。它适用于表层检验的试样，不易产生倒角。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。夹持器与试样间的垫片多采用铜、铝等薄片（0.5~0.8 mm 厚），垫片的电极电位应高于试样，在浸蚀时才能不被浸蚀。

2. 塑料镶嵌法

塑料镶嵌法常用的有以下两种：一种是利用环氧树脂等物质在室温进行镶嵌；另一种是在专用的镶嵌机上进行镶嵌。

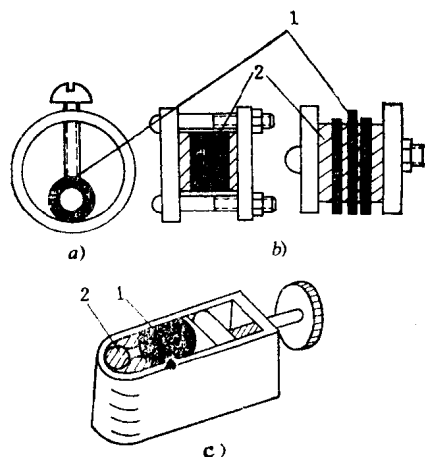


图1-2 机械夹持器

a) 管状试样 b) 薄片试样 c) 块状试样
1—试样 2—垫片

(1) 环氧树脂镶嵌 主要材料为环氧树脂加固化剂等组成, 即: 环氧树脂 + 固化剂 = 聚合物 + 热。固化剂主要是胺类化合物, 其用量应适当, 用量过多树脂变脆, 因放热反应会使镶样温度升高; 但用量过少, 则不能充分固化。故一般固化剂的量约占总量的 10%。常用以下两种配方:

(a) 环氧树脂 (6101*)	0.100kg
乙二胺 (固化剂)	0.008kg
氧化铝 (耐磨填料 150~300 目)	适量
(b) 环氧树脂 (6101*)	0.100kg
磷苯二甲酸二丁脂 (稀释剂)	0.020kg
乙二胺 (固化剂)	0.008kg
氧化铝 (耐磨填料 150~300 目)	适量

加入耐磨填料是为了提高其硬度, 可用氧化铝、碳化硅以及铸铁屑、石英、水泥粉等。

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, 凝固后即成。

套管可用钢管、铜管、铝管或塑料管, 可以是一次性消耗的, 也可以重复使用, 若属后者, 应在套管和平板上涂一层油脂薄膜, 以便将镶嵌试样顶出。使用第二种配方时, 可将前两种材料预先配好贮存备用, 使用时再加入乙二胺和耐磨填料。

此外, 也可用水泥、石膏等材料进行镶嵌。

环氧树脂适用于大批量试样的镶嵌, 可预先配制且操作简便, 但由于固化缓慢, 一般需要 6~24 h 后才能磨制, 而且易因受热而软化, 故对于较硬的材料和热敏感性不高的材料, 都采用镶嵌机镶嵌或低熔点合金镶嵌。

(2) 镶嵌机镶嵌 是在专用的金相试样镶嵌机上进行。镶嵌机主要由加热、加压和压模装置三部分组成。所用的塑料有热凝性和热塑性塑料两大类。热凝性塑料如胶木粉 (电木粉), 它是酚醛树脂, 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, 但抗酸碱浸蚀能力较差。镶嵌时在压模内加热至 130~150℃, 同时加压到 17.0~21.0MPa (170~210kgf/mm²), 保温 10min 左右, 然后冷却至 70℃脱模即成。

热塑性塑料的种类较多, 常用的有聚氯乙烯, 它是透明或半透明的塑料。与有机玻璃类似, 质地较软, 但抗酸碱浸蚀能力较强。镶嵌操作与热凝性塑料相同, 但加热温度为 140~170℃, 压力为 17.0~25.0MPa (170~250kgf/mm²)。热塑性塑料在成型过程中无化学变化, 若再次加热又能变软, 故能回收再用。利用这一特点, 可获得线材、薄片材料垂直切面的金相磨面。其方法是利用热塑性塑料预压成型, 再沿纵向锯开, 最后镶嵌成型。

对用电解抛光试样的镶嵌, 可以加入银、铜等金属填料, 使之具有导电性。也可从镶料背面到试样钻孔, 插入导体使之导电。塑料镶嵌时还可加入耐磨填料, 如氧化铝、碳化硅等来增加硬度及耐磨性, 防止试样在磨制过程中产生倒角。

塑料镶嵌的温度、压力及保温时间应视所用塑料的种类而定。对于具有淬火马氏体组织的试样不宜采用, 因加热时可能改变其组织; 对于性软的金属及合金, 如铅、锡、轴承合金等, 因加压易引起塑性变形, 也不宜采用。

3. 低熔点合金镶嵌

低熔点合金镶嵌的优点是合金熔点低, 对试样的组织影响较小, 可预先配制好合金, 待

镶嵌时熔化浇注即可。

表 1-1 为部分低熔点合金的成分和熔点。

表 1-1 镶嵌用部分低熔点合金

合金名称	合金成分 %				熔点 °C
	Bi	Pb	Sn	Cd	
武氏合金	50.0	25.0	12.5	12.5	65.5
李普氏合金	50.0	27.0	13.0	10.0	70.0
露氏合金	52.0	31.5	16.0	—	96.0
无铋武氏合金	—	32.0	50.0	18.0	124

制备三个以上金相试样时，容易发生混乱，需在试样磨面的侧面或背面编号，编号时应力求简单，能与其他试样相区别即可。如刻号、用钢字码打号等。

试样在标号后应装入试样袋，试样袋应记录试样名称、材料、工艺、送检单位、检验目的、编号以及检验结果等项目。当试样无法编号时，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，还需进行磨光、抛光等工序，才能获得表面平整光滑的磨面。图 1-3 表示了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，得到平整光滑的磨面。

图 1-4 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，已被原来凸起部分所填平，它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，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。

（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、横断面），并将其修整平坦。粗磨可采用手工操作或机械操作，前者适宜于较软的有色金属及其合金，一

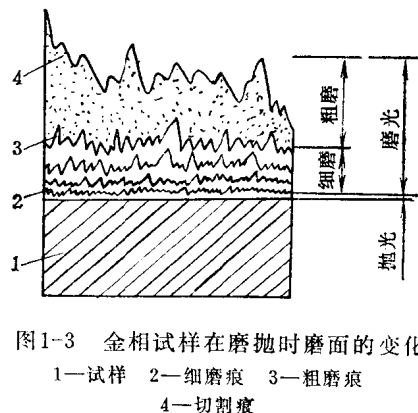


图 1-3 金相试样在磨抛时磨面的变化
1—试样 2—细磨痕 3—粗磨痕 4—切割痕

307343

般用锉刀或粗砂纸修整外形和磨面；后者适宜于一般钢铁材料，在砂轮机上进行修整。砂轮机应有专用的砂轮，不能用于工具的磨削，否则砂轮侧面不平，粗磨后，试样磨面也不平整。一般在砂轮圆周上修整外形，在砂轮侧面修整磨面。

用砂轮机粗磨时，必须注意接触压力不可过大，试样要冷却，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；另外使磨面温度升高影响组织并使磨痕极深，金属扰乱层增厚，给细磨、抛光造成困难。应严禁戴手套或用尖嘴钳等物夹持试样在砂轮上粗磨。粗磨后将试样和双手清洗干净，以防将粗砂粒带到细磨的砂纸上，造成深磨痕。

(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。可分为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。砂纸上的磨料一般是碳化硅或氧化铝微粉。砂纸平铺在玻璃、金属、塑料或木板上，一手紧压砂纸，另一手平稳地拿住试样，将磨面轻压砂纸，向前平推，然后提起、拉回，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。

金相砂纸的规格，如表 1-2 所示。

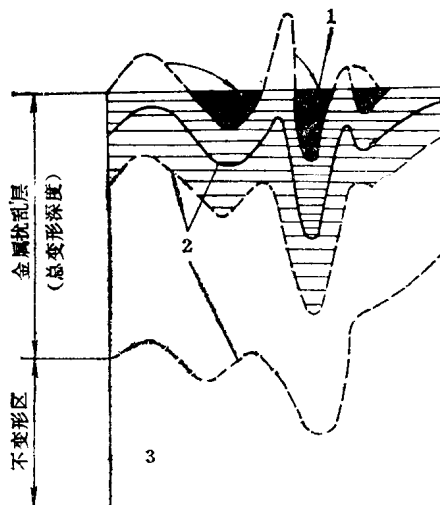


图 1-4 金相试样在磨抛中的微观变化

1—高度变形玷污区 2—均匀变形线

3—未变形区

表 1-2 金相砂纸的规格

磨料粒度号	砂纸代号	尺寸范围 μm	磨料粒度号	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			

所谓磨料或微粉的粒度号，是按 JB1182-71 中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) 经粗磨的试样须清洗，吹干后再依次在砂纸上细磨，磨面上磨痕一致时，更换细一号砂纸，并转 90° 与旧磨痕垂直，继续细磨直至旧磨痕消失、新磨痕均匀一致时再更换砂纸，每次更换砂纸时须将试样和双手洗净、擦干。

(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) 磨制较软材料时, 应在砂纸上加几滴润滑剂, 以免砂粒嵌入软的金属表面, 并减少表面撕裂现象。常用的润滑剂有煤油、汽油、机油或石蜡汽油溶液, 以及肥皂水、甘油水溶液等。当砂粒变钝后, 磨削作用大减, 要更换新砂纸, 否则砂粒与磨面产生滚压作用, 使变形层增厚, 故过旧的砂纸虽未撕破, 也不宜继续使用。

(4) 凡磨制过硬材料的砂纸, 不能再磨软材料, 以免硬颗粒嵌在软材料上, 造成很深的划痕, 抛光时难以消除。

2. 机械细磨

机械细磨常用预磨机, 蜡盘和磨光膏以加速细磨过程。

(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, 沿径向移动并与旋转方向相反作轻微转动, 待粗磨痕完全消失, 新磨痕一致即可。由于通水湿磨, 水流可冲洗砂纸, 及时将大部分磨屑及脱落的磨粒冲走, 这样可保证在整个细磨过程中, 磨粒的尖锐棱角始终与试样磨面接触, 保持良好的切削作用。而脱落的磨粒被水冲走, 可防止磨粒嵌入试样表面造成假象, 故可提高细磨效率和质量。

水砂纸的粘结剂和金相砂纸不同, 它不溶于水, 故不会使磨粒脱落。砂纸使用后要刷洗干净、晾干, 下次使用前浸入水中, 待平整后再用。水砂纸的规格与金相砂纸不完全相同, 常用的水砂纸有 180、240、320、400、500、600、800、1000 号等, 磨制时应选择粒度不同的砂纸, 以保证试样的磨制质量。

预磨机国产的有 M-2 型, 它有两个直径为 230mm 的旋转圆盘。通常是把两台预磨机组合使用, 可在四个盘子上选择粒度不同的水砂纸进行磨制。预磨机磨制试样速度快、效率高, 在 3~5min 内即可完成细磨工序。操作时应严格遵守预磨机使用规则, 注意安全, 防止试样飞出, 并遵守手工细磨的注意事项。

(2) 蜡盘细磨 把石蜡、磨料加热搅拌均匀, 使其成糊状, 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 1-5 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, 横杆靠在蜡盘外圈 (或卡在外圈上)。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, 又具有一定的强度, 使磨料能嵌入内部, 能支持试样磨面进行磨光。磨料露出部分的刃口起磨削作用, 磨料与磨面间无滚压作用, 故金属变形层较小。

与其他细磨相比, 蜡盘细磨有以下特点: 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、有色金属等。以及磨制检验石墨、非金属夹杂物的试样。

常用蜡盘的配方:

石蜡

0.04kg

硬脂酸

0.10kg

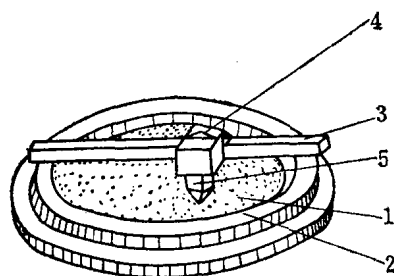


图1-5 石蜡盘车削附件

1—石蜡盘 2—外圈 3—横杆
4—滑块 5—车刀

磨料 (SiC 或 Al_2O_3)

0.30kg

硬脂酸的熔点及硬度较石蜡高, 磨光效果更佳。

此外, 可自制简易蜡盘, 其方法是在抛光盘的抛光布上浇一层 3~5mm 厚的石蜡, 使石蜡渗入抛光布内, 冷却后即成为蜡盘。使用时洒以磨料与水的悬浮液。可用不同粗细磨料制成数个蜡盘配套使用。

(3) 磨光膏细磨 磨光膏可以购买, 也可自制, 其配方如下:

硬脂酸	0.045 kg
磨料 (Al_2O_3 或 SiC)	0.216 kg
凡士林	0.024 kg
煤油	0.003 kg

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。按磨料粗细可预先制作 2~3 种磨光膏, 如粒度号为 200, 400, 600 的贮存备用。能代替蜡盘, 也能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, 其目的是消除试样细磨时在磨面上留下的细微磨痕, 得到平整、光亮、无痕的镜面。理想的抛光面应是平整、光亮、无痕、无浮雕、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, 因抛光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, 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、化学抛光和综合抛光等几种。

(一) 机械抛光

机械抛光当前应用最广, 它是在专用的金相试样抛光机上进行。细磨后的试样冲洗后, 将磨面置于抛光机圆盘上抛光。按抛光微粉(磨料)粒度, 分为粗抛与精抛。粗抛时所用抛光微粉颗粒直径为 $1\sim 6\mu\text{m}$, 精抛用微粉颗粒直径在 $0.3\sim 1\mu\text{m}$ 之间。对较软的有色金属必须进行粗抛与精抛, 但对钢铁材料仅需粗抛即可。

1. 机械抛光设备

金相抛光机目前国产有单盘 P-1 型和双盘 P-2 型两种。都是由电动机 (0.18kW) 带动抛光盘旋转, 转速 1350r/min , 抛光盘用铜或铝浇铸而成, 直径 $200\sim 250\text{mm}$ 。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, 沿径向往复缓慢移动, 并且逆旋转方向轻微转动。

普通的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, 同时夹持几个、十几个试样, 在一定压力下进行抛光的半自动抛光机、全自动抛光机、振动抛光机等在国内已有使用。

2. 抛光原理

抛光时由抛光微粉与磨面间的相对机械作用而使磨面抛光, 其主要作用有:

(1) 磨削作用 抛光微粉嵌入抛光布间隙中, 暂时被织物纤维所固定, 露出部分刃口, 在抛光时产生切削作用。

(2) 滚压作用 当抛光盘旋转时, 暂时被固定的抛光微粉极易脱出或飞出盘外, 这些脱出的抛光微粉在抛光织物和磨面间滚动, 对磨面产生机械滚压作用, 使表面凸起的金属移向凹陷处, 如图 1-4 所示, 造成高度变形污染区。滚压作用越强, 变形区厚度越大, 金属扰乱层也愈厚, 易形成伪组织。抛光时应力求减少变形区, 可采用粗抛与精抛两步抛光法, 尽量减轻抛光压力或用抛光浸蚀交替法, 一般交替进行三、四次即可消除或减少金属扰乱层, 显示出金属的真实组织。图 1-6 为金属扰乱层对显示珠光体组织的影响, 图 1-6 a 为中碳钢退火后的显微组织, 除少数铁素体外, 其余颇似“索氏体”, 经反复抛光浸蚀后, 假象消除, 显示出真实组织, 如图 1-6 b 所示。

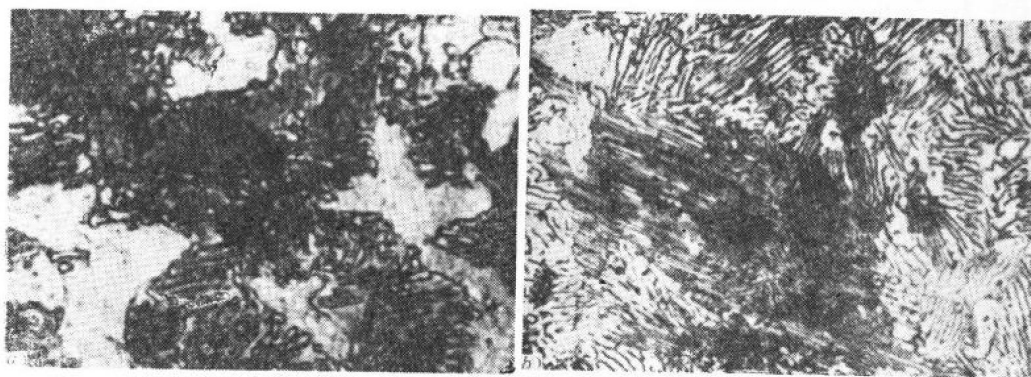


图 1-6 金属扰乱层对显示珠光体组织的影响

a) 金属扰乱层对中碳钢组织的影响, 使组织模糊, 颇似珠光体

b) 经反复抛光浸蚀后显示的珠光体

3. 抛光微粉

抛光微粉(抛光粉)是颗粒极细的磨料, 其粒度有 W7, W5, W3.0, W2, W1.5, W1.0, W0.5 等。抛光微粉要求具有高硬度和一定的强度, 颗粒细而均匀, 外形呈多角形、刃口锋利。外形越尖锐, 其磨削作用越强; 反之, 颗粒呈圆形, 只能在抛光布与磨面间滚动, 滚压作用强烈, 导致金属扰乱层加厚, 而且易使非金属夹杂物和石墨曳尾、脱落或扩大凹痕。

表 1-3 为常用抛光粉的种类、性能及用途。其中氧化镁硬度最低, 金刚石硬度最高。表

表 1-3 常用抛光微粉

材 料	莫氏硬度	特 点	适 用 范 围
氧化铝 Al_2O_3	9	白色, α 氧化铝微粒平均尺寸 $0.3\mu m$, 外形呈多角形 γ 氧化铝粒度为 $0.1\mu m$, 外形呈薄片状, 压碎后更为细小	通用抛光粉 粗抛光和精抛光
氧化镁 MgO	5.5~6	白色, 粒度极细而均匀, 外形锐利呈八面体	适用于铝镁及其合金和钢中非金属夹杂物的抛光
氧化铬 Cr_2O_3	8	绿色, 具有较高硬度, 比氧化铝抛光能力稍差	适用于淬火后的合金钢、高速钢以及钛合金抛光
氧化铁 Fe_2O_3	6	红色, 颗粒圆细无尖角, 形起的变形层厚	适用于抛光较软金属及合金
金刚石粉(膏)	10	颗粒尖锐、锋利, 磨削作用极佳, 寿命长, 变形层小	适于各种材料的粗、精抛光, 是理想的磨料

中的莫氏硬度是按材料抵抗划痕的能力来作为硬度标准的，它按自然界中矿物的软硬顺序分为10级。1级最软，10级最硬，金刚石为10级，其他均小于10级。

(1) 氧化铝 又称刚玉，它有 α - Al_2O_3 （六方晶系）和 γ - Al_2O_3 （正方晶系）两种，一般常用 α - Al_2O_3 ，是通用抛光粉。精抛时，要进行水选分级，其方法是在盛有蒸馏水的容器里加入适量氧化铝粉，充分搅拌后除去表面上的泡沫，然后静置沉降。颗粒越粗，沉降越快，沉降时间越短。所以，静置时间越长，则悬浮在上部的颗粒也越细、越均匀。一般经过1~5 min 静置后用虹吸管吸出或倾倒入悬浮液，可获得较细的微粉。根据不同静置时间，可获得不同粒度的氧化铝微粉。

(2) 氧化铬 为绿色粉末，具有较高的硬度。化学纯的氧化铬经水洗后即可作抛光粉。用于抛光钢和铸铁试样。

(3) 金刚石抛光膏 它的硬度极高，是广泛使用的一种抛光微粉，颗粒极其尖锐，具有良好的磨削作用，产生的金属扰乱层极薄，抛光效果最好。虽然价格昂贵，但因磨削能力强，切削寿命长，消耗极少，故总的成本并不高。常用金刚石研磨膏规格为W5、W3、W1的常用于粗抛；W1、W0.5、W0.25用于精抛。使用时加适量蒸馏水调成糊状，涂在抛光布上即可抛光。

(4) 氧化镁 为白色粉末，硬度较低，但颗粒细，在使用中破碎后仍保持尖锐外形，故磨削作用强，适用于较软的有色金属及其合金的抛光和精抛。亦用于抛光检验非金属夹杂物和石墨的试样。由于氧化镁极易吸水变成氢氧化镁，当空气中有二氧化碳时，能形成碳酸镁。碳酸镁颗粒粗而硬度低，无抛光作用。故在使用中最好将氧化镁微粉直接洒在抛光布上，再滴上蒸馏水调成糊状抛光。若用15%悬浮液时，须用蒸馏水调制，不能存放，抛光结束后应立即刷洗抛光盘，并把抛光布浸入2%盐酸水溶液中2~3 h，使残留氧化镁和已结块的碳酸镁与盐酸作用形成可溶于水的氯化镁，使抛光布柔软利于继续使用。

(5) 氧化铁 为红色粉末，又称抛光红粉，硬度较低，对磨面的滚压作用较强，易拖曳出非金属夹杂物和石墨，产生较厚的金属扰乱层，但抛光面光亮，用于抛光较软的金属。

4. 抛光织物

抛光织物即抛光布，在试样抛光时起以下作用：

- (1) 织物纤维能嵌存抛光粉，且能防止微粉因离心力而散失；
- (2) 能贮存部分润滑剂，使抛光顺利进行；
- (3) 织物纤维与磨面间的摩擦，能使磨面更加光亮。

因此，要求织物纤维柔软，牢固耐磨，不得混有粗而硬的纤维。适于抛光的织物较多，有棉毛织品，丝织品以及人造纤维等。一般粗抛用细帆布、工业毛毡，精抛多用金丝绒、纺绸、尼龙等，应根据检验目的、试样材料以及现场实际情况灵活选用。例如，金丝绒是较理想的抛光布，纤维长而柔软，能保存抛光粉，储存润滑剂，磨削作用好。但在检验非金属夹杂物及石墨时则要用其背面，也可选用短纤维的抛光布，如尼龙、涤纶布等。因长纤维易使非金属夹杂物曳尾和脱落。

新抛光布须经处理才能使用，如帆布、金丝绒、毛呢等均需煮沸脱脂10~30 min，而尼龙、涤纶等只需温水浸泡或用肥皂揉搓，使之柔软并除去杂质。抛光结束要洗净晾干，或浸泡在蒸馏水中。

5. 抛光操作

在抛光过程中应注意以下事项:

(1) 在抛光时, 试样和作者双手及抛光用具必须洗净, 以免将粗砂粒带入抛光盘。

(2) 抛光微粉悬浮液的浓度一般为 5~15% 的抛光粉蒸馏水悬浮液, 装在瓶中, 使用时摇动, 滴入抛光盘中心。

(3) 抛光盘湿度是以提起试样, 磨面上的水膜在 2~3 s 内自行蒸发干者为宜。若湿度过大, 会减弱磨削作用, 增大滚压作用, 使金属扰乱层加厚, 并易将非金属夹杂和石墨拖出; 若湿度过小, 润滑条件极差, 因摩擦生热而使试样温度升高, 磨面失去光泽, 甚至形成黑斑。故悬浮液的滴入量应该是“量少次数多, 中心向外扩展”。

(4) 抛光时试样磨面应平稳轻压于抛光盘中心附近, 沿径向缓慢往复移动, 并逆抛光盘旋转方向轻微转动, 以防磨面产生曳尾。一般抛光时间在 2~5 min 内即可消除磨痕, 得到光亮无痕的镜面, 否则应重新细磨。若压力过大, 时间过长, 只能加厚金属扰乱层, 使硬质相出现浮雕。抛光结束后立即冲洗试样, 用酒精擦拭, 热风吹干, 置于 100× 金相显微镜下观察, 此时能看到非金属夹杂物或石墨, 而且不能有曳尾现象, 无划痕。对于不需要金相摄影的试样, 允许个别细微划痕残存。

(5) 极软极硬金属的抛制特点 对于铜、铝、铅等金属及其合金, 试样制备时易引起金属形变层, 使金属扰乱层加厚。常采用手工取样, 手工粗磨, 使用新砂纸手工细磨, 并在砂纸上滴以润滑剂。常用的润滑剂为 5% 石蜡煤油, 更换砂纸时在 5% 石蜡煤油中清洗。也可以用蜡盘代替手工细磨, 但压力要轻。可分别采用粗抛与精抛, 抛光浸蚀交替法消除金属扰乱层。

对于硬质合金试样, 因其硬度极高 (高于氧化铝的硬度), 常采用 60 目软质碳化硅砂轮粗磨; 在铸铁盘上洒以 200 目碳化硼或金刚石粉细磨试样, 并滴入机油润滑, 约 2~3 min 即可; 最后在特制的塑料抛光盘上抛光 2~3 min, 抛光时涂以金刚石研磨膏, 亦可在金属抛光盘上蒙上尼龙布, 再涂金刚石研磨膏进行抛光。

(6) 铸铁及非金属夹杂物试样的抛光 铸铁中的石墨及金属中的非金属夹杂物, 在抛制中极易拖尾、扩大和剥落, 因此多采用手工细磨, 磨制时应加肥皂作润滑剂; 亦可用蜡盘代替手工细磨, 但必须选用短纤维抛光布, 如尼龙, 涤纶布, 丝绸等。抛光时应不断转动试样, 以防单向拖尾, 还应尽量缩短磨抛时间。对铸铁试样, 因表面易产生麻点、斑痕和氧化, 可在抛光盘上加入微量铬酸酐, 或加入防氧化溶液, 并用防氧化溶液清洗试样。防氧化溶液配方如下:

亚硝酸钠	0.010~0.015kg
苏打灰 (200℃焙烧的 Na_2CO_3)	0.003kg
蒸馏水	1000ml

(二) 电解抛光

由于机械抛光有机械力的作用, 不可避免地会产生金属变形层, 使金属扰乱层加厚, 出现伪组织。而电解抛光是利用电解方法, 以试样表面作为阳极, 逐渐使凹凸不平的磨面溶解成光滑平整的表面。因无机械力的作用, 故无变形层, 亦无金属扰乱层, 能显示材料的真实组织, 并兼有浸蚀作用。适用于硬度较低的单相合金、容易产生塑性变形而引起加工硬化的金属材料, 如奥氏体不锈钢、高锰钢、有色金属和易剥落硬质点的合金等的试样抛光。

图 1-7 可明显看出机械抛光和电解抛光对显示奥氏体组织的影响。图 1-7 a 为机械抛光