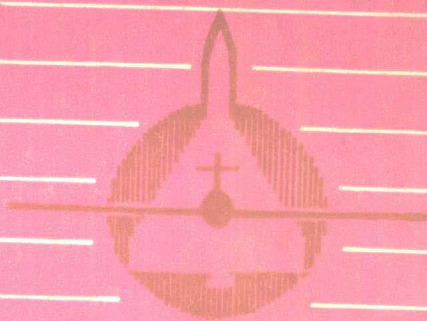


光学金相技术

沈桂琴 编著



国防工业出版社

光 学 金 相 技 术

沈 桂 琴 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书分十三章，第一章至第五章介绍了一般金相研究方法，包括试样制备、金属显微组织的显示、金相显微镜的原理和使用、低倍和显微摄影、暗室技术等。偏光、相衬、干涉、显微硬度、高低温及定量金相等，分别在第六章至第十一章进行了系统的介绍。最后二章分别介绍了渗层测定和夹杂物的鉴定。

本书可作金属材料及热处理专业用教材，也可作为从事这方面工作的科技人员的参考书。

光 学 金 相 技 术

沈桂琴 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张13¹/₄ 307千字

1983年11月第一版 1983年11月第一次印刷 印数：0,001—7,000册

统一书号：15034·2656 定价：1.40元

前 言

《光学金相技术》是金属材料及热处理专业用教材之一，隶属于《金属实验方法》课程。学习本课程目的是为了掌握有关光学金相技术中的基础知识；同时也为学习《金属实验方法》的后续部分《金属的x射线和电子金相技术》打下基础。对于工厂、研究单位的金相工作者本书亦可作为参考资料。

全书分十三章，第一章至第五章介绍了一般金相研究方法，包括：试样制备；金属显微组织的显示；金相显微镜的构造、原理及使用；低倍和显微摄影；暗室技术等内容。这些都是金相研究的基础。随着材料科学的发展，光学金相技术也不断有所更新，目前使用较多的方法有：偏光、相衬、干涉、显微硬度、高温、低温以及定量金相等，第六章至第十一章对这些内容分别进行了较系统的介绍。渗层测定，夹杂物的鉴定是金相研究中常遇到的问题，故也做为本书的一个组成部分，分别在十二、十三章中介绍。

本书在编写过程中得到谢希文副教授的全面帮助和指教，全部插图由张录新同志描制，部分金相照片由北京航空学院102实验室唐顺仙、王仲珍、蒲淑英提供。本书由北京钢铁学院张维敬副教授、王岚讲师主审。在此一并表示感谢。由于作者的学识水平和教学经验有限，诚挚欢迎读者对书中错误及不妥之处批评指正。

目 录

第一章	试样制备	1
第二章	金属显微组织的显示	28
第三章	金相显微镜	46
第四章	低倍摄影和显微镜摄影	73
第五章	暗室技术	86
第六章	偏振光在金相研究中的应用	103
第七章	干涉显微镜及其应用	122
第八章	相衬金相及微差干涉衬度	127
第九章	高温及低温金相技术	143
第十章	显微硬度及其应用	152
第十一章	定量金相	161
第十二章	钢的脱碳层和化学热处理渗层深度的测定	179
第十三章	非金属夹杂物的鉴定	191

第一章 试样制备

用光学金相显微镜观察金属显微组织前，必须对金属表面进行适当的处理。通常，光学金相试样制备要经过以下几个步骤：取样、镶嵌、磨光、抛光、显示。每个步骤都必须细心操作，因为任何阶段上的失误都可能影响以后的步骤。在极端情况下，不正确的制样可能造成假组织，从而得出错误的解释。

本章仅就试样制备的前四个步骤分别进行介绍，组织显示的方法较多，将在第二章详细讨论。

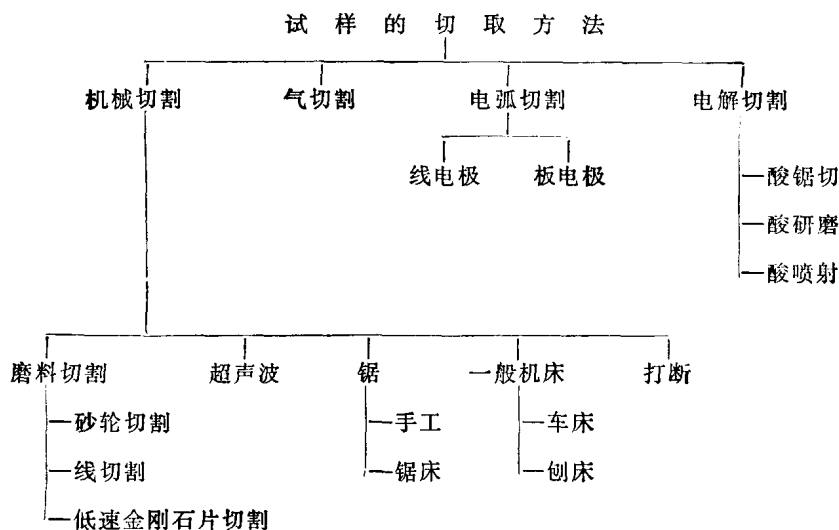
一、取 样

选择合适的、有代表性的金相试样是金相研究中至关重要的第一步。取样可分两种情况，一种是系统取样，试样必须能表征被检验材料或零件的特点，即要有代表性。当然材料中不可避免的偶然偏差会影响观察的结果，而统计的方法则有助于改进结果的准确性。另一种是指定取样，即根据所研究的问题，有针对性地选取试样。

人们根据长期生产检验的经验，已对系统取样中的常规检验作了明确的规定，需要时可查阅有关标准，如冶标、航标等。故障分析（或称失效分析）的试样属于指定取样，必须根据零件的使用部位、受力情况、出现裂纹的部位和形态等具体情况，抓住关键部位取样分析，例如，裂纹源区的取样就非常重要。

金相试样切取的方法可根据取样零件的大小、材料的性能、现场实际条件灵活选择。目前切取试样的方法总结起来有表 1-1 中所列的几种，其中最常用的方法是砂轮切割。

表1-1 试样的切取方法



不论采用何种方法切割试样，总的要求都是一致的，即应保证被切取的试样表面的显

微组织不因切割而发生变化。用砂轮切割，试样应充分冷却，例如淬火钢试样若不注意这点，就很容易使淬火马氏体回火。

试样表面由于切割会引起变形层，而这一变形层对金相显微组织又有很大影响，要想得到金属的真实组织，这一变形层必须在后续工序中完全去掉，因此寻找变形层小的切割方法十分重要。

韦勒(Wellner)用x射线法和显微硬度法研究了三种切割方法对不同材料表面变形层的影响，所采用的切割方法是：氧化铝或氧化硅砂轮切割（转速1450转/分，片厚1.6毫米）、电火花切割和低速金刚石片切割（转速：150转/分，片厚0.3毫米），被切割的材料有：电解铜、铁素体钢、不锈钢和工业纯钛等。图1-1为用x射线衍射法测出的变形层深度。可以看出，使用低速金刚石片切割的试样，变形层最浅。低速金刚石片是在圆形金属片的边缘部分用粘结剂粘上一薄层金刚石粉，图1-2(a)为低速金刚石片切割机的切割示意图，而图1-2(b)则为低速金刚石片切割机的外形图。近年来逐渐发展用电化学方法切割试样，切断处根本没有变形层，但目前尚未广泛应用。

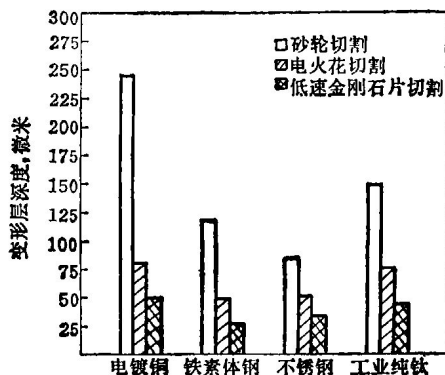
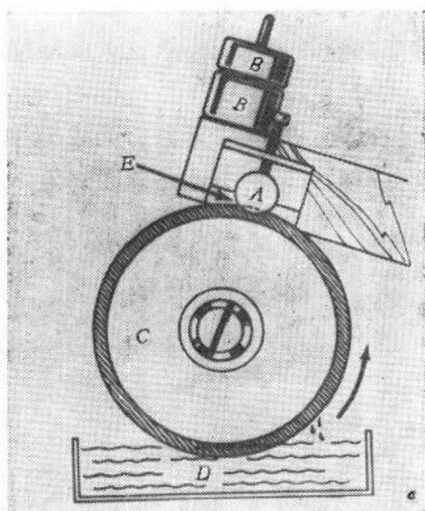
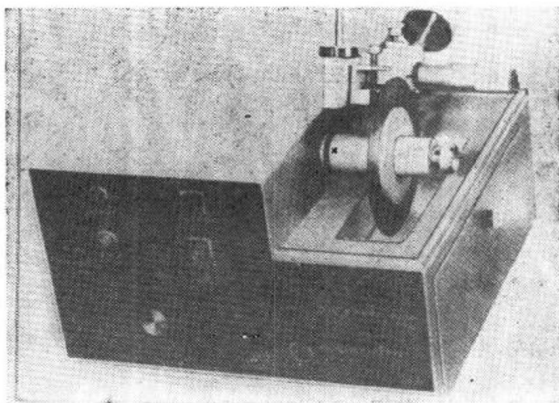


图1-1 切割方法对变形层深度的影响



(a)



(b)

图1-2 (a) 低速金刚石片切割机的切割示意图；(b) 低速金刚石片切割机外形

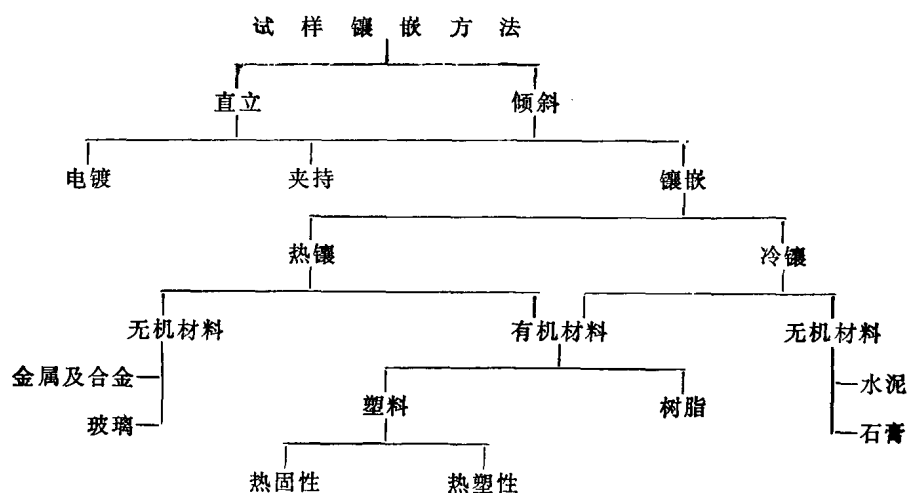
A—试样；B—配重；C—金刚石片；D—冷却液；E—切割示意。

二、镶嵌

为了便于试样的制备，对试样尺寸有一定要求，一般为 $\phi 12$ 毫米 $\times 12$ 毫米的圆柱体或12毫米 $\times 12$ 毫米 $\times 12$ 毫米的立方体。但当试样形状不规则或较小（如线材、细小管材、薄板等）、较软、易碎或者边缘需要保护时，必须将试样镶嵌起来，变成易于制备的试样。

另外，随着试样磨光、抛光逐渐自动化，要求试样规格化，这也只能通过镶嵌来完成，所以试样镶嵌日显重要。表 1-2 列出镶嵌试样的各种方法，其中最常用的是将试样镶在有机材料里。有机材料镶嵌法按所使用的材料和工艺，又可分为冷镶法和热镶法。热镶法反应式为：树脂+压力+热=聚合物。冷镶法反应式为：环氧树脂+固化剂=聚合物+热。

表1-2 试样镶嵌方法



热镶法用热固性塑料（胶木粉或电木粉，即酚醛树脂）或热塑性塑料（聚乙烯聚合树脂、醋酸纤维树脂）等做镶嵌材料，在模具内加热加压成型，热固性塑料需加热到 $110\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，热塑性塑料加热温度要更高，达到 $140\sim 165^{\circ}\text{C}$ 。此法的优点是硬度较高，抗酸和碱的腐蚀，但需专用设备——镶嵌机，同时又要加热，这样会导致某些材料显微组织发生变化，故该法的使用受到一定限制。

冷镶法使用聚合塑料（即环氧塑料），是由环氧树脂加固化剂组成。固化剂主要是胺类化合物。固化剂的用量要适当，用量太多时，一方面会使高分子键迅速终止，降低聚合物的分子量，最终强度低；另一方面会由于放热反应而使镶嵌料温度升高。但是，如果固化剂用量太少，则固化不能进行完全。通常固化剂约占总量的 10%。

对于多孔的或有细裂纹的试样，真空冷镶嵌是有好处的，借助于真空，树脂可以填满孔洞和裂纹，树脂中的气泡也可以消除。真空注入技术对于粉末金属试样、陶瓷试样或多孔试样特别有用。图 1-3 为真空镶嵌设备示意图。

对于薄层组织，如镀层、渗层、变形层等，由于太薄，观察和测量都有一定困难，目前采用锥形截面来增加观察的厚度。锥形截面可利用倾斜镶嵌法获得。图 1-4 为倾斜镶嵌示意图。

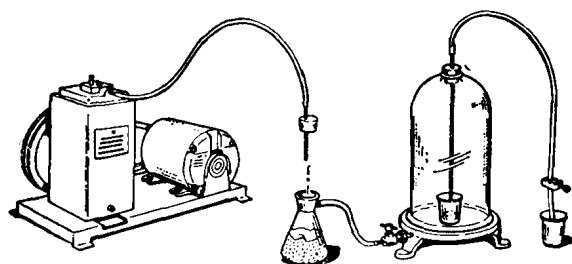


图1-3 真空镶嵌设备示意图

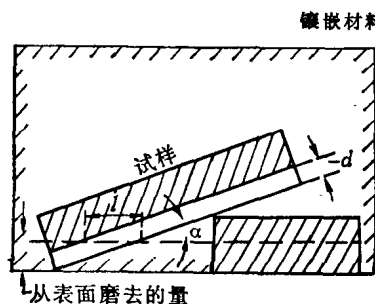


图1-4 倾斜镶嵌示意图

意图, 被观察试样借助于支持物倾斜放入塑料中, 倾角为 α 。若薄层真实厚度为 d , 倾斜镶嵌时的表观厚度为 l , 则 $l = d / \sin \alpha$ 。例如当 $\alpha = 5.7^\circ$ 时, $l = 10d$ 。这种锥形截面对于薄层组织的研究是非常有用的。

在环氧塑料中还可以加入增韧剂或填料, 以提高其硬度。石英和水泥粉都是较好的填料。

适用于做浇铸模的材料有多种, 其中最适于多次使用及低温固化的是硅橡胶和聚氟乙烯塑料。图 1-5 为用环氧树脂及橡胶制的镶嵌模和底部可拆式的塑料模镶嵌过程示意图。

对于需要研究表层组织的试样, 还可以使用机械夹具 (图 1-6), 以保持试样边缘的平整。另外, 在试样表面镀上一层硬度与试样表层相近的镀层, 在磨制抛光时, 也可以保护试样边缘。这种方法对于不规则试样是很方便的。镀层可以是镀铜、镀铬、镀镍等, 特殊情况下也可以采用多层复合镀层。

镶嵌试样进行电解抛光时, 可采用两种方法镶嵌, 一种是在镶嵌料中加入铜粉, 使整个镶嵌试样均导电, 另一种办法是试样上焊一导线后再进行镶嵌, 如图 1-7 所示。

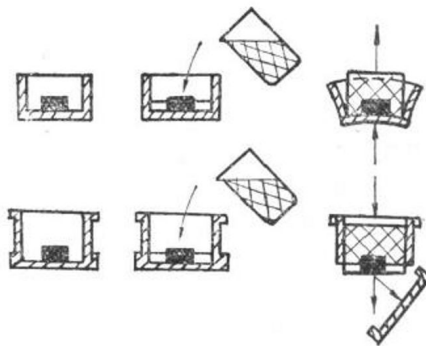


图1-5 用环氧树脂及橡胶模和底部可拆式塑料模镶嵌过程示意图

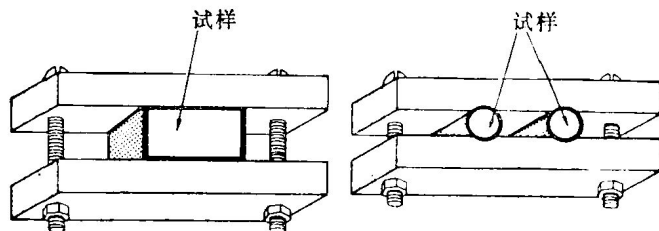


图1-6 试样夹具

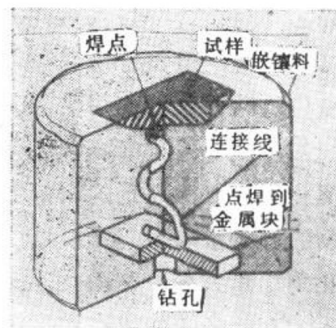


图1-7 用于电解抛光的镶嵌试样

三、粗磨及细磨

用机械方法对金相试样进行磨光和抛光是目前最广泛使用的一种方法。长期以来, 澳大利亚科学家 L. 萨莫尔斯 (L. E. Sameuls) 对金相试样的机械磨光及抛光进行了大量的实验研究工作, 提出了机械磨光及抛光的机制, 纠正了一些长期沿用的错误概念, 为正确进行机械磨光及抛光操作提供了科学依据。

萨莫尔斯提出, 凡是使用固定磨粒 (如砂轮机以及砂纸) 的过程称为磨光, 凡是使用松散磨粒的过程称为机械抛光。本节只讨论机械磨光机制及操作。

1. 磨光机制

金相试样在砂纸上磨光时, 砂纸的每颗磨粒均可以看成是一把具有一定迎角的刨刀,

图 1-8 为砂纸的横截面，图 1-9 为具有不同迎角的两颗磨粒，迎角大于临界值的磨粒才能产生切削作用，而迎角小于临界值的磨粒，只能在试样表面划沟(钢的临界迎角约为 90°)。图 1-10 为高纯度铜磨制时产生的刨屑及划痕的扫描电子显微镜照片，试样先进行精抛光，随后按正常磨制，在 600 号 SiC 砂纸上，从右至左磨一次，随后用扫描电镜观察。

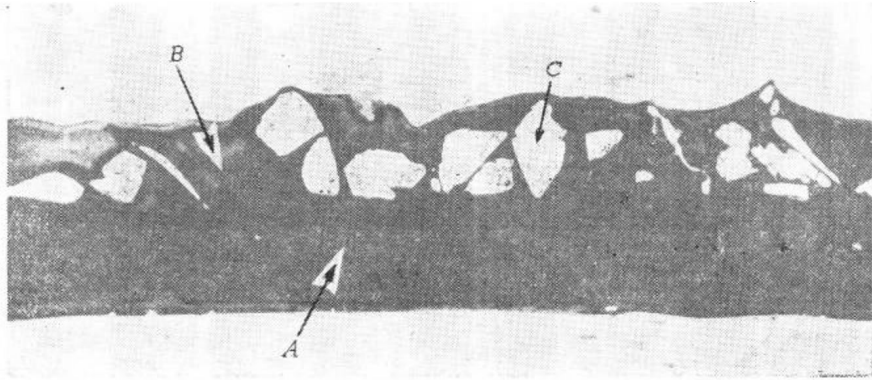


图1-8 220号SiC砂纸的横截面 100×

A—纸基；B—粘剂；C—砂粒。

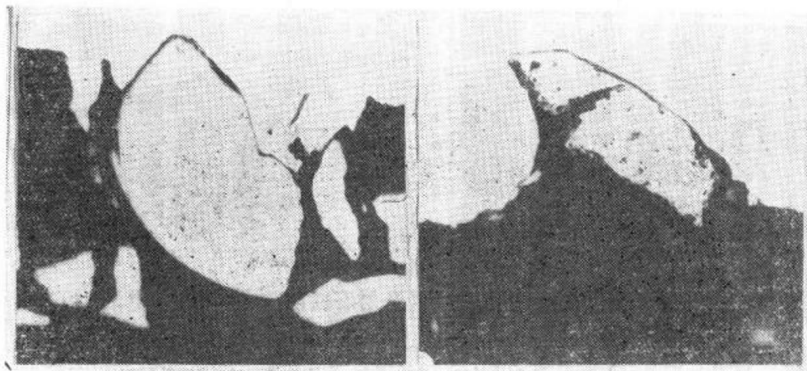
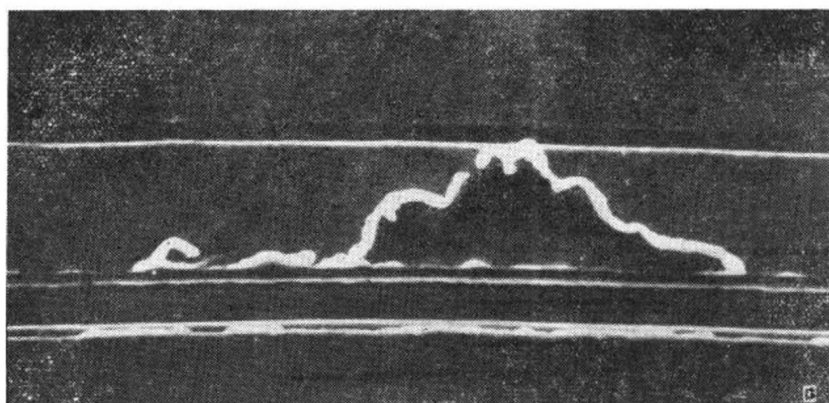


图1-9 220号SiC砂纸中两颗具有不同迎角的磨粒 500×

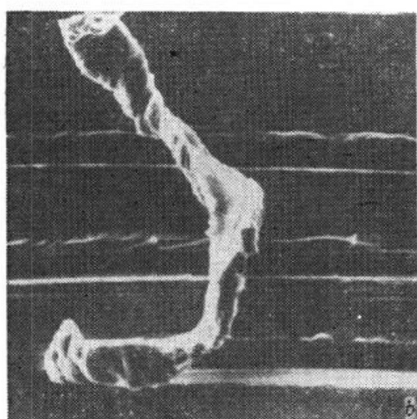
对大量砂纸统计分析的结果表明，大于临界角的砂粒占整个砂纸上磨粒的 20%，而小于临界角的磨粒占 80%，即 80% 的磨粒不能起磨削作用，由磨粒引起的划痕则要挤压其周围的金属，使试样表层产生一定的塑性变形。利用锥形试样，可以比较清楚地观察到试样表面磨制后的情况。图 1-11(a) 为 70-30 黄铜用 220 号 SiC 砂纸磨制后金相试样表层变形情况，图 1-11(b) 为磨面的表层应变分布图。

从图 1-11(a) 可以看出：最外层是严重变形层（磨痕），是很薄的一层，呈暗黑色，内部模糊不清，从这一层可分辨出金属的磨痕轮廓，此层金属的应变最大，用透射电子显微镜和电子衍射研究表明，这相当于冷轧量大于 90% 的组织，具有高密度的缺陷。再向下可以看到应力集中从各个磨痕向下呈放射状扩展，内部可见由于滑移带受蚀而产生的条纹，经深入研究表明，这一层应变相对小些，但其应变量仍大于 5%，通常称这层为显著变形层。再向下则形成浅蚀条纹，据认为是存在形变的扭折带的标志，应变更小，称之为变形层。

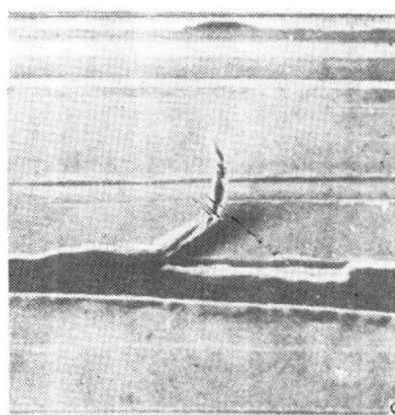
通过以上分析，萨莫尔斯指出，试样磨制产生的损伤层，并非只有外部可见的严重变



(a)



(b)



(c)

图1-10 高纯铜磨制时产生的磨屑及划痕横向放大倍数：(a) 180 $\times$ ，
(b) 1120 $\times$ ，(c) 560 $\times$ 。斜度均为45 $^{\circ}$ 。

形层，还应包括内部的所有变形层，它的深度远远大于磨痕深度。

表 1-3 为 70-30 黄铜试样用不同方法加工磨制后表面的严重变形层、显著变形层及总损伤层深度的实测数据。可以看出，磨粒越细，损伤层越浅。

那么，磨制产生的变形层对金属的显微组织有什么影响呢？为了研究这个问题，将经过 220 号砂纸磨过的退火 70-30 黄铜试样进行抛光，使其表面去掉 5 微米，在这种情况下，试样表面的明显磨痕没有了，但腐蚀后在晶粒内部有黑色滑移带〔图 1-12(b)〕。若继续进行抛光，当磨面去掉 15 微米时，试样腐蚀后晶粒内的黑色滑移带消失〔图 1-12(c)〕。显然，图 1-12(a) 中出现的黑色滑移带是由磨光时产生的变形层造成的假相。

在金属材料中，不仅黄铜有以上现象，对各种钢材、铸铁、锌等的研究发现，磨光工序也会产生变形层，对真实显微组织显示有很大影响，只是变形层深度不同，表现形式不同而已。例如当奥氏体钢和铁素体钢的变形层未去掉时，晶粒内会出现黑色滑移带。在珠光体钢中，变形层则使珠光体片层破碎或扭曲，如图 1-13(a) 及 1-13(b) 所示。图 1-13(c) 为其真实组织。对于金属锌，变形层使锌的晶粒破碎或在晶内出现大量机械孪晶，如图 1-14(a) 及 1-14(b) 所示。图 1-14(c) 为真实组织。

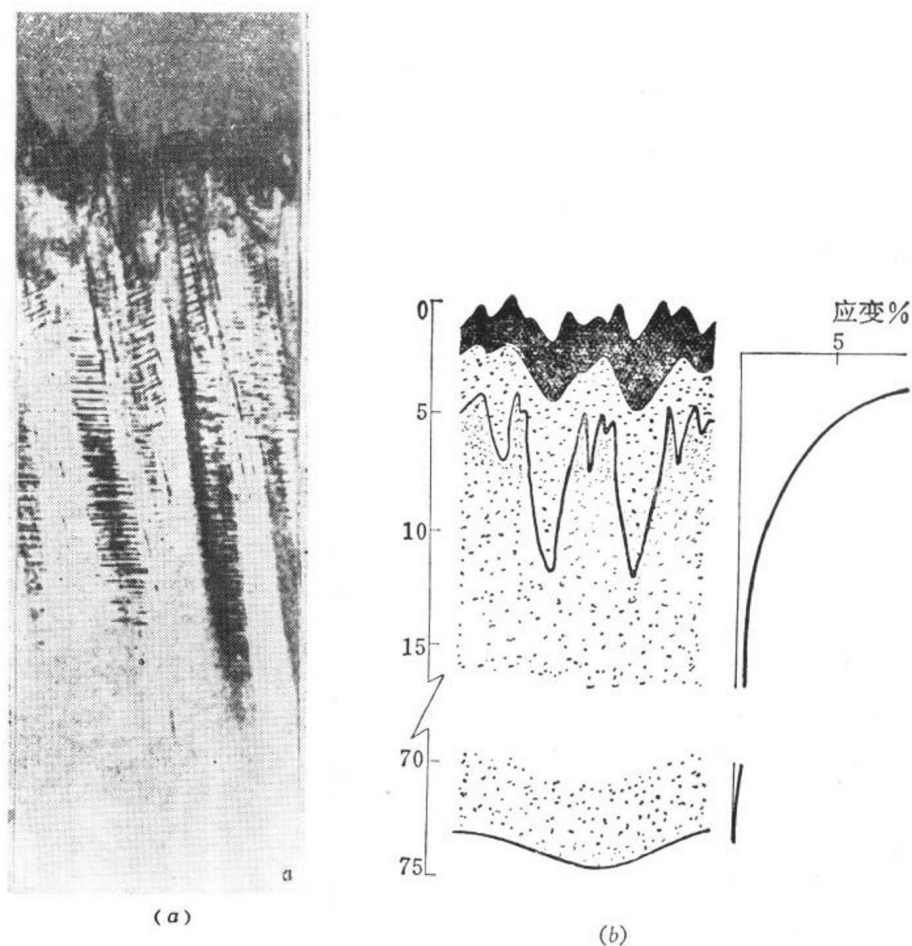


图1-11 (a) 退火的70-30黄铜用220号SiC砂纸磨制后, 试样表层变形情况。
锥度8.2, 1000 $\times$; (b) 磨制后试样表层的应变分布图

表1-3 70-30黄铜试样不同加工方法产生的损伤层深度

加工方式		损伤层深度, 微米		
		严重变形层	显著变形层	损伤层
手 锯		100	55	750
粗 锉		70	50	450
SiC 砂纸	220号	2.0	7.5	77
	400号	1.5	6.5	43
	600号	0.8	5.0	22
Al ₂ O ₃ 蜡盘(10~20微米)		0.3	3.0	16

总之, 所有金属在磨光过程中都会产生变形层, 如果不将变形层去除, 经过腐蚀后将会产生假相。这是一个严重的事实, 必须引起金相工作者的充分注意。我们一方面要学会辨认变形层造成的假相, 另一方面要合理制定磨光工艺, 尽量减小变形层。

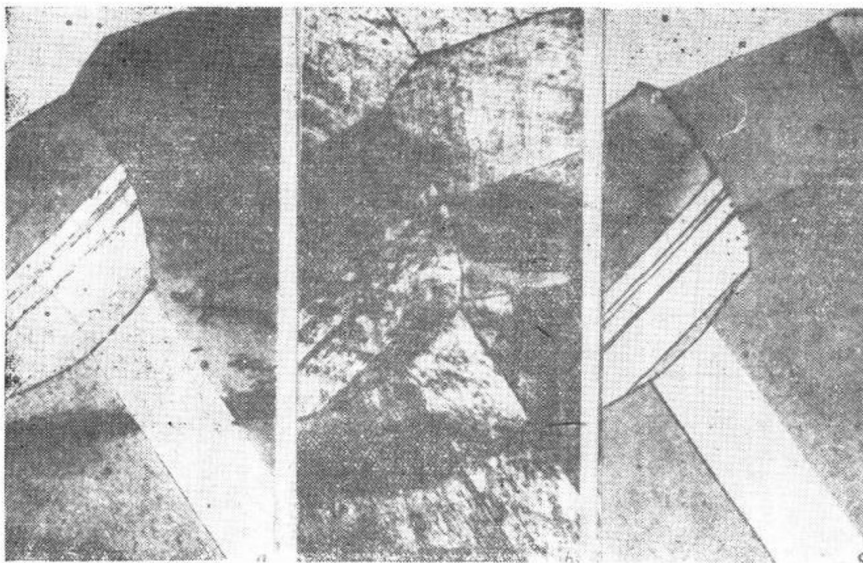


图1-12 退火的70-30黄铜磨光产生的假相 250×

试样经220号SiC砂纸磨制，然后抛光并磨蚀。

(a) 轻轻抛一下；(b) a 试样抛光去掉5微米；(c) a 试样抛光去掉15微米。

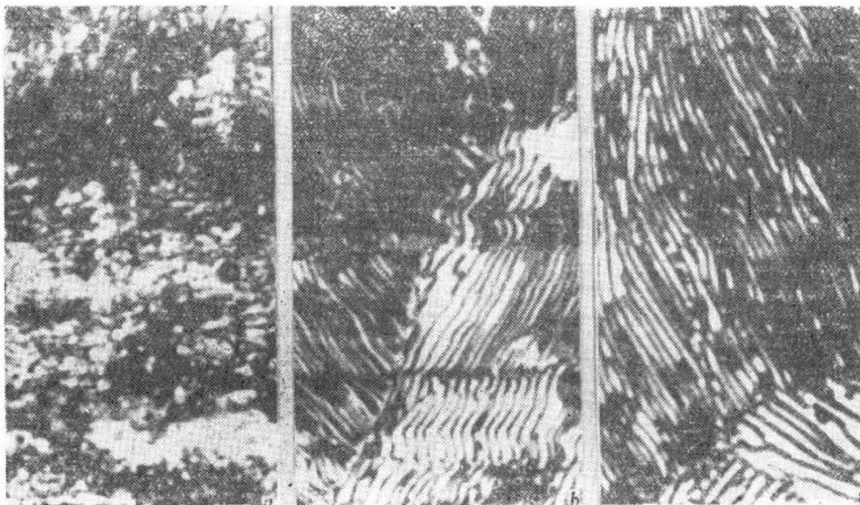


图1-13 珠光体钢磨制时产生的假相 2000×

(a) 在砂带机上磨制后，再经过短时间抛光，破碎珠光体；(b) 600号SiC砂纸磨制后，再经过短时间抛光，扭曲珠光体；(c) 600号SiC砂纸磨制后，再经过长时间抛光，真实珠光体。

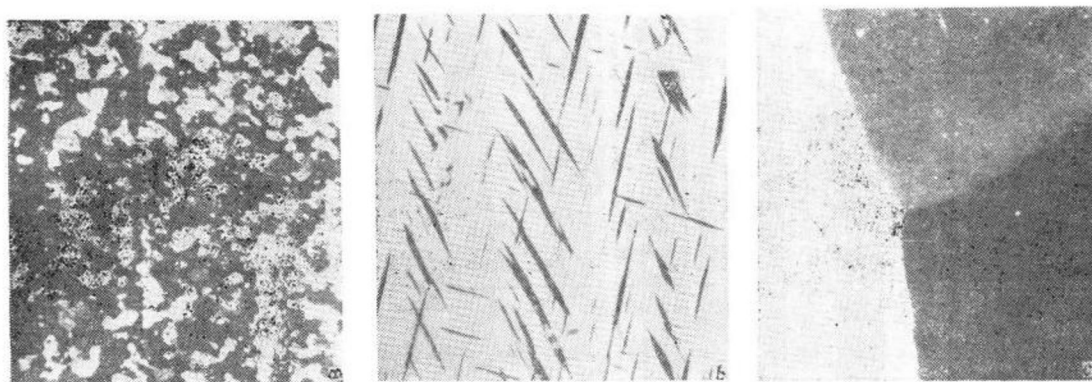


图1-14 退火多晶体锌的磨制损伤层造成的假相 250×

(a) 220号SiC砂纸磨制，而后抛光去掉2~3微米，细碎晶粒；(b) 220号SiC砂纸磨制，而后抛光去掉15微米，机械变形孪晶；(c) 220号SiC砂纸磨制，而后抛光去掉45微米，真实组织。

2. 磨光操作

(1) 粗磨

粗磨是试样制备的第一道磨制工序，取样后试样表面的粗糙不平度主要在粗磨时去掉。粗磨可采用手工和机械两种方法。

较软的金属如铝、铜等，用锉刀或在铣床、车床上修整。不能使用砂轮机或磨床，因为软金属容易堵塞砂轮孔隙，造成磨削刀具钝化，使试样表面变形层加厚。

硬的金属试样通常在磨床或砂轮机上进行粗磨。磨制过程中，为防止产生大量磨削热并尽量减少磨面的变形层，要求磨具锐利，每次磨削量要小，同时还要充分冷却。用手工在砂轮上粗磨时，接触压力不要太大，以保证磨面质量和操作安全。

磨制金相试样的砂轮机与普通机械工厂磨刀具用的砂轮机略有不同。金相砂轮机的侧面是露在外面的，磨削时主要用砂轮的侧面磨平，打磨试样时，要使试样在砂轮侧面来回移动，以保证侧面平整而不致形成凹槽。也有用砂带机进行粗磨的。

(2) 细磨

粗磨后的磨痕较粗，变形层较深，试样表面仍是凸凹不平，需要经过不同粒度砂纸细磨，得到磨痕较细、变形层较浅的磨制表面，使随后的抛光工序得以顺利进行。

细磨时应尽快将前道砂纸产生的变形层去掉，而不是仅限于去掉表面磨痕，同时要使本道砂纸产生的变形层尽可能浅。

SiC砂纸最适于做金相试样的细磨，它的优点是：①磨光速率（单位时间内去除的金属量）大；②磨光时虽然划痕深一些，但损伤层较浅；③可以用水做冷却剂及润滑剂。

图1-15表示SiC砂纸的磨光速率及损伤层深度与砂纸粒度的关系。由图可以看出，磨粒大到一定尺寸（50~80微米）

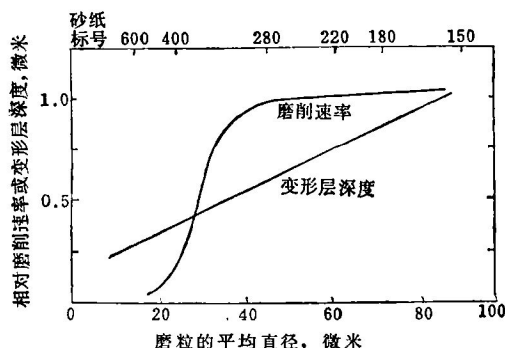


图1-15 SiC砂纸磨光速率及损伤层深度与粒度关系

后, 磨光速率相差不多, 但损伤层深度却随着磨粒尺寸的增大而增加。因此开始细磨时所用的砂纸, 其粒度不一定愈粗愈好, 通常可从 220 号或 280 号用起, 然后依次再用 400 号及 600 号磨制, 随后即可进行抛光, 整个细磨过程更换 3 ~ 4 次砂纸就可以了, 对于较软的金属则应磨至更细的砂纸后再抛光。

表 1-4 列出细磨时常用的碳化硅砂纸的标号及磨粒平均粒度, 标号数字愈大, 砂纸磨粒粒度愈细。砂纸应按砂粒粗细分开保管。磨过硬质材料的砂纸, 不宜再磨软质材料。

表 1-4 SiC 砂纸标号及磨粒平均粒度

砂纸标号	180号	220号	320号	400号	600号	1000号
平均粒度微米	75	60	47	40	26	18

用新砂纸磨制时, 试样的损伤层较深, 但磨制 50~100 次后, 损伤层深度就基本稳定

不变, 图 1-16 为实际测量结果。但砂纸的磨光速率却随着使用次数的增加呈指数下降(图 1-17), 因此, 新砂纸稍加使用后, 即处于最佳使用状态, 而当用得太过旧时, 由于磨光速率显著下降, 就不宜再使用。

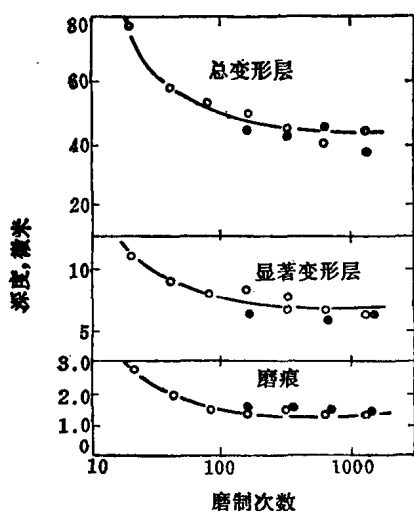


图 1-16 400号SiC 砂纸磨制退火多晶体黄铜, 磨制次数对磨痕、显著变形层和损伤层的影响

○—磨制时不用力, ●—磨制时用力。

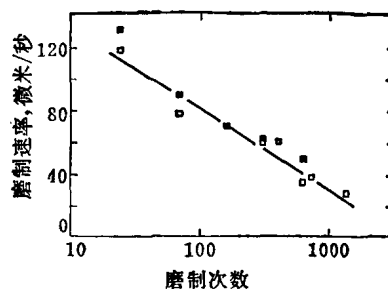


图 1-17 220号SiC 砂纸磨制退火黄铜, 磨制次数和磨制速率的关系

细磨时, 施加的压力愈大, 磨光速率也愈大, 但对损伤层则影响不大, 图 1-16 中的黑点表示磨制时施加大压力时对试样损伤层的影响。因此在磨光时, 可以施加适当的压力, 磨制压力也没有逐渐减少的必要。

过去细磨时要求, 每换一次砂纸, 试样磨制方向应改变 90°, 为的是能看清上一道磨痕是否完全去掉。现在知道, 单单把磨痕除去还不够, 必须把上一道的变形层去掉, 这样就需要多磨些时间, 但只要砂纸处于最佳使用状态, 每道砂纸所需时间并不多。另外改变磨制方向有利于保持试样磨面的平整。

目前在细磨工序中干磨法已逐渐为湿磨法所代替。湿磨法就是在细磨时有流动水通过砂纸。这种方法优点是: ①流动水能够及时将大部分磨屑及脱落的磨粒冲走, 以免磨屑在磨粒空隙内。这样可以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,可防止磨粒镶入试样表面,造成假相。②流动的水是良好的冷却剂。③显著改善实验室清洁卫生条件。

湿磨时必须使用水磨砂纸,即砂纸磨粒与纸基的粘接剂不溶于水, SiC 砂纸就属于此类。图 1-18 为手工湿磨设备的外观图,四种不同标号的砂纸朝外向下倾斜(从操作者看),分别粘贴或压紧在底板上,由小孔出来的水流经砂纸。这种设备结构简单,整个细磨工序可以在同一设备上完成。

湿磨法还可以进一步机械化(图 1-19)。在边缘略有突起的转盘上,先放一些水,然后将砂纸放在水面上,当转盘转动后,砂纸下面的水被甩出,砂纸就被吸附在转盘上,这时就可以进行细磨。细磨时要不断用水冷却,盘的转速一般不超过 300 转/分。

在机械湿磨设备上再配以适当的试样夹持器,还可以使磨光过程自动化,图 1-20 为其结构示意图。由图看出,转盘上可以放两个试样夹持器,能够同时磨十块试样。每个试样夹持器的中心各与一个带顶尖的轴接触,此轴的上端可以放适当的配重,使试样夹持器受到一定的压力,当盘转动时,试样夹持器也会随之转动,自动湿磨机的磨光质量比手工操作好,同时还可提高工作效率,节省细砂纸。

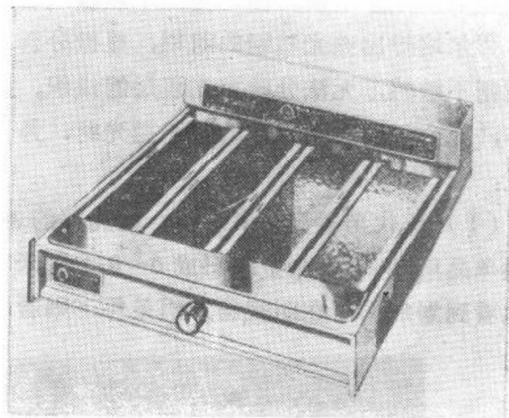


图1-18 手工湿磨设备外观图

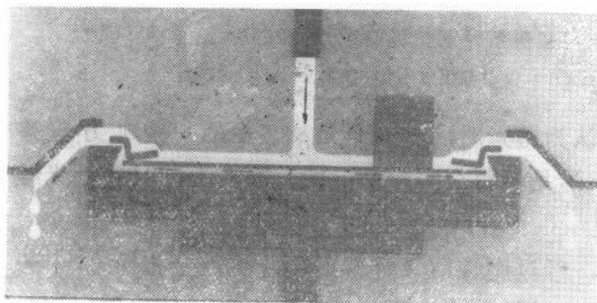


图1-19 机械湿磨

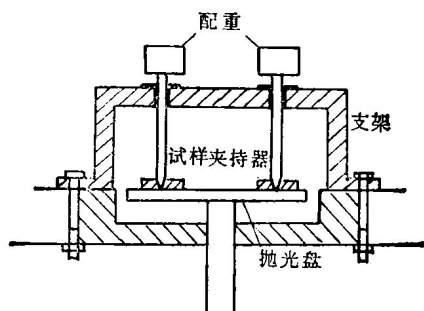


图1-20 自动湿磨机结构示意图

四、机械抛光

抛光是将试样上磨制产生的磨痕及变形层去掉,使其成为光滑镜面的最后工序。金相试样的质量是由抛光质量决定的。而抛光前的磨面平整度及产生的变形层,又直接影响抛光质量。因此,只有经过反复细磨,得到均匀的磨痕及较浅的变形层时,才能进行抛光。

机械抛光是抛光微粉（磨料）与磨面间相对机械作用而使磨面变成光滑镜面的过程。

1. 机械抛光的机制

本世纪初，S. 拜尔培(S. G. Beilby)提出了抛光的经典理论。他认为，抛光时试样表面凸起部分被挤抹在低凹部分，最后表面被一光滑层所覆盖，拜尔培认为这一层完全是非晶态物质，因为它完全失去原来整体材料的特征。后来人们把这一层称为拜尔培层。到了四十年代，一般认为如果存在拜尔培层，其厚度不应超过 10^2 埃。鲍登及休阿斯于1937年提出一个似乎很合理的拜尔培层形成机制，即当磨粒擦过试样表面凸起处时，局部的接触点受热可达到熔点，而使凸起处金属流到凹下处，由于受到激冷而使这部分材料成为非晶态，最后构成了拜尔培层。抛光是一个热激活过程。

拜尔培提出抛光机制的时期，显微分析术只有简单的垂直照明明视场，对表面较小的不规则不敏感，无法分辨抛光表层的组织。萨莫尔斯利用现代的研究手段，做了大量试验工作，充分证明在用标准的金相抛光时，并不会形成所谓拜尔培层。主要依据有以下几点：

(1) 现代光学显微术表明：抛光好的表面都有细划痕，只是其绝对尺寸不同而已。例如银单晶用 $0\sim 1$ 微米金刚石或 $0\sim 0.1$ 微米 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 抛光后，在相衬照明条件下，可以清楚地看到划痕，而在明视场照明条件下则看不到划痕。如图 1-21 所示。

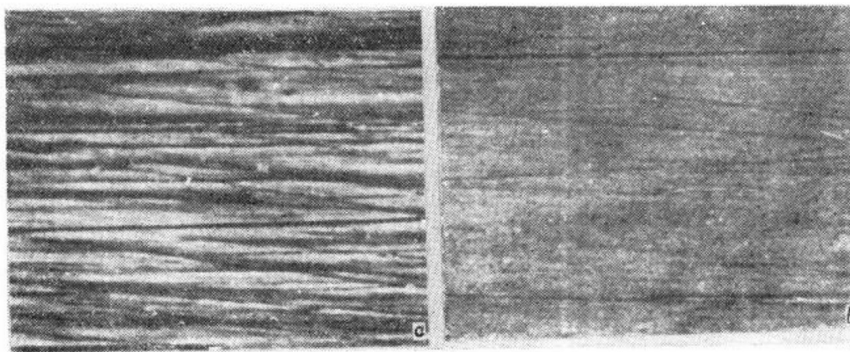


图1-21 已抛光好的试样，在相衬照明条件下拍摄的照片 $2000\times$
(a) 银单晶用 $0\sim 1$ 微米金刚石粉抛光；(b) 银单晶用 $0\sim 0.1$ 微米 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 抛光。

(2) 拜尔培理论的一个基本困难是它认为抛光时，材料只是从表面的一些地方迁移到另一些地方，也就是没有材料的净去除，这是不符合实际情况的。事实上，只要抛光继续进行，就一直会有材料被除去。

(3) 在抛光过程中已经去掉的粗划痕，经过腐蚀后又重新出现，这是金相操作中一个常见的重要现象。拜尔培认为这是由于抛光时粗划痕被拜尔培层所覆盖，拜尔培层的化学活性大于基体材料，因此在腐蚀作用下将优先溶解，因而又显示出磨痕（图 1-22）。

萨莫尔斯指出：细磨后除了在试样表面有磨痕外，表面还有变形层〔图 1-23 (a)〕。抛光后，虽然可以将磨痕去除，但有时并未能将变形层完全去除〔图 1-23 (b)〕，因此，在腐蚀剂作用下，原变形层部分将优先溶解，好象又重新出现了磨痕〔图 1-23 (c)〕。

(4) 过去认为拜尔培层厚度不超过 10^2 埃，但是现在测出磨痕深度可达 10^4 埃或更深，因此，拜尔培层不足以覆盖带有磨痕的表面。