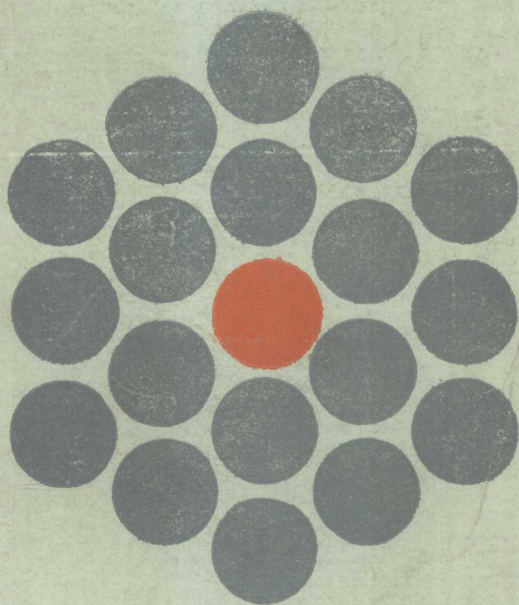


金属学及热处理 实验与习题

朱蓓蒂 周风云 主编



华中理工大学出版社

曹武军

本书分为实验及习题两大部分。

第一篇为实验部分，详细地介绍了与金属学及热处理课程的基本内容（如结晶、相变、塑性变形与再结晶及扩散等）密切相关的实验14个，光学金相分析方法训练性实验7个。其中包括彩色金相试样的制备，定量金相分析等新技术实验。

第二篇为习题部分，按课程内容分为十一章，共收集各类习题240题。目的是便于学生理解金属学及热处理的基本原理及巩固所学的基础知识。

书末附有供实验及解题用的各种附录8个。

本书可作为高等工院校金属材料及热处理专业和热加工专业的教学用书，也可作为有关科技工作者的参考用书。

金属学及热处理实验与习题

朱蓓蒂 主编

周风云

责任编辑 漆文琰

华中理工大学出版社出版发行

（武昌喻家山）

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：7·125 字数：148 000

1989年9月 第1版 1989年9月第1次印刷

印数：1-1 5000

ISBN 7-5609-0351-7/TG·8

定价：1.44元

前 言

为了适应高等学校教学改革及教材建设的需要,同时也为弥补目前金属学及热处理课程教学资料之不足特编写了本教材。全书分为实验及习题两大部分。

实验部分的编写主要以我校多年来开出的实验为依据,从现有的实验条件出发,并参考了兄弟院校的教学资料。其内容偏重于验证课程中的有关基本理论;阐明金属材料中组织结构的一些基本现象和变化规律;系统介绍光学金相分析的基本方法。我们希望通过实验,能使学生了解验证金属学及热处理基本理论及规律的实验手段;掌握分析金属组织形貌的方法与技能,从而提高学生的动手能力。

习题内容的选取,则着眼于帮助学生理解课程中的基本原理,以利于澄清一些模糊概念,巩固记忆。习题中还列举了一些生产实际问题,以培养学生分析问题和解决问题的能力。习题中还配有少量难题,供学生深入思考。

书中实验一、二、六、十三、十四、十五、十七、十八由周风云编写;实验三、九、十、十二、二十、二十一由朱蓓蒂编写;实验四、七、十九由刘光葵提供初稿;实验五、八、十一由章志乔提供初稿。各章习题均由朱蓓蒂编写。书中所用金相图片及插图由周风云、朱蓓蒂、刘光葵及实验室有关工作人员提供。全书由朱蓓蒂、周风云主编、陶曾毅主审。

限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,诚恳地希望同行和读者们提出宝贵意见。

编者

1988年4月

目 录

第一篇 金属学及热处理实验

实验一	光学金相试样的制备	(1)
实验二	光学金相显微镜的结构与使用	(17)
实验三	金属晶体结构的研究	(30)
实验四	结晶过程的观察	(35)
实验五	液态金属结晶组织的观察	(37)
实验六	二元合金相图的建立	(45)
实验七	二元合金显微组织的观察	(48)
实验八	铁—碳合金显微组织的观察	(62)
实验九	三元合金显微组织的观察	(71)
实验十	金属冷塑性变形后显微组织的观察	(78)
实验十一	金属的扩散与显微组织的变化	(84)
实验十二	金属再结晶后的显微组织变化	(89)
实验十三	显微硬度的测定	(94)
实验十四	显微组织的摄影	(100)
实验十五	偏振光金相分析	(109)
实验十六	钢的宏观缺陷的鉴别	(114)
实验十七	钢中非金属夹杂物的分析	(121)
实验十八	彩色金相试样的制备	(128)
实验十九	定量金相分析	(132)
实验二十	碳钢热处理基本组织的观察	(137)
实验二十一	合金钢及铸铁显微组织的观察	(147)

第二篇 金属学及热处理习题

第一章	金属与合金相的晶体结构	(157)
第二章	金属的凝固	(162)
第三章	二元合金相图与凝固	(165)
第四章	铁碳合金	(173)
第五章	三元合金相图	(176)
第六章	金属的塑性变形	(185)
第七章	位错	(188)
第八章	固态金属中的扩散	(197)
第九章	界面	(201)
第十章	回复与再结晶	(205)
第十一章	热处理及合金钢	(209)
附录一	常用化学浸蚀试剂	(216)
附录二	显微硬度	(217)
附录三	钢中常见夹杂物的类型与特征	(218)
附录四	国际单位制中常用的基本单位与导出单位	(220)
附录五	国际单位制用的十进词头	(220)
附录六	常用物理常数	(221)
附录七	扩散计算中的常数	(221)
附录八	常用元素表	(222)

第一篇 金属学及热处理实验

实验一 光学金相试样的制备

一、实验目的

1. 掌握光学金相试样制备的基本方法及技术要点。
2. 识别制样过程中常见的缺陷。

二、实验说明

光学金相分析是获得金属材料质量信息的重要手段之一。进行光学金相分析，必须按分析要求制备试样，这是因为分析工作是借助金相显微镜来完成的。如果试样未经制备，则观察面很粗糙，当平行光照在试样上时，会形成漫反射，以致在显微镜下看不到显微组织；若试样观察面呈光滑的镜面，当平行光照在试样上时，则又会形成按入射方向的反射，在显微镜下只能观察到白亮的一片，也看不到显微组织特征；只有试样的观察面出现显微范围内的凹凸不平时，经平行光照射后，才能产生出强弱不同的反射，以便在显微镜下观察到试样的显微组织特征。因此，进行金相分析的试样，必须精心制备。如果试样制备不当，则可能使显微组织模糊不清，甚至出现假相并得出错误的分析结果。这是应该特别注意的问题。

一块试样的制备通常包括取样、镶嵌、磨光、抛光、显示

组织等几个步骤。

1. 取样

根据分析目的或国家制定的标准，在零件或材料有代表性的部位切取一小块试样。例如，为了分析轧制钢材中非金属夹杂物的形态及变形度，应按我国冶金工业部标准，沿钢材的纵向取样。试样的尺寸以握在手中操作方便为原则。一般，圆形试样取直径为12mm，高为12mm；块形试样长、宽、高各取12mm为宜。

取样最常用的方法是进行机械切割。机械切割的设备和工具有砂轮切割机（图1-1-1）、电火花切割机、车床、锯床、手锯等。其中砂轮切割机广泛用于钢铁材料的切取；较软的有色金属材料可用手锯或车床切割；既硬又脆的材料可用锤击的方法截取。在取样过程中，必须保证显微组织不因切割热而发生变化，也不因切割力造成塑性变形。为此，在使用砂轮切割机时，应注意用水充分冷却试样，加力要平稳、均匀。

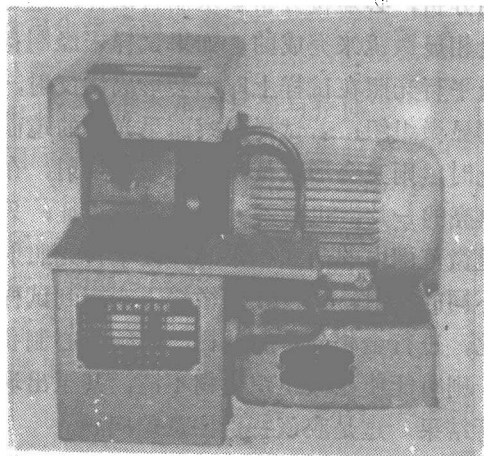


图1-1-1 砂轮切割机

2. 镶嵌

对尺寸过小，形状极不规则的试样需进行镶嵌。常用的镶嵌方法有以下几种：

(1) 热镶法

此法在专用的镶嵌机（图1-1-2）上进行。将试样的观察

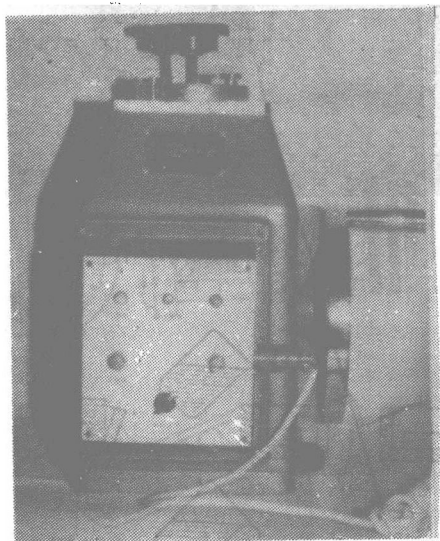


图1-1-2 XQ—2型镶嵌机

面向下置入镶嵌机的模具内，用热固性塑料（酚醛树脂，俗称电木粉）或热塑性塑料（聚氯乙烯）作为镶嵌材料填入试样周围，然后加热、加压成型。图1-1-3为镶嵌好的试样。热镶法只适用于在 200°C 以内加热无显微组织变化的试样。

(2) 冷镶法

为了避免热镶法所引起的显微组织变化，还可采用冷镶法。它是将环氧塑料（环氧树脂100g，邻苯二甲酸二丁酯15g，

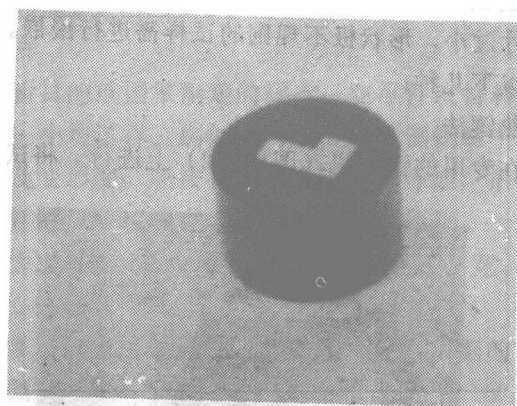


图1-1-3 热镶嵌试样

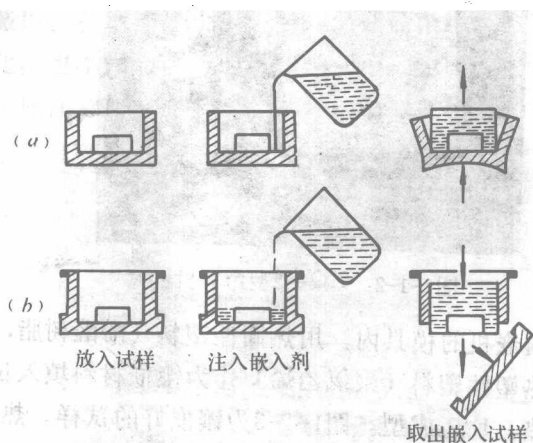


图1-1-4 金相试样的冷镶嵌

(a)软塑料模; (b)硬塑料模

乙二醇10g) 的流体态注入塑料模内 (图1-1-4), 在室温下经

24h后可固化，试样即被镶嵌于其中。为了脱模方便，常在塑料模的内壁涂一层硅油。

(3) 机械夹持法

当分析试样表层的显微组织时，常用机械夹具来夹持试样。为了保护试样的边缘，可在试样一侧面或两侧面放置软金属垫片（图1-1-5）。还应注意夹持时不能用力太大，以免引起试样塑性变形。

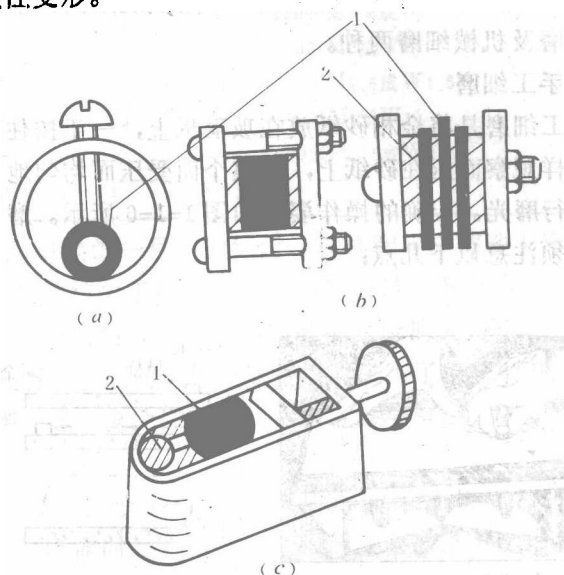


图1-1-5 机械夹持器

(a)管状试样； (b)薄片试样； (c)块状试样
1—试样； 2—垫片

3. 磨光

磨光的目的是为了获得平整的观察面，并消除或减小切割时在观察面上产生的变形。试样的磨光分粗磨和细磨两类。

(1) 粗磨

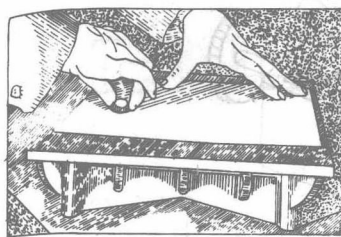
粗磨是指用砂轮或锉刀磨平观察面。对于硬的钢铁材料，通常在砂轮机上进行粗磨；而对于较软的材料如铝、铜等，可用锉刀修平。操作时，应注意不使试样的显微组织发生变化。为此，在砂轮机上粗磨时，需不断将试样放入冷水中冷却。

(2) 细磨

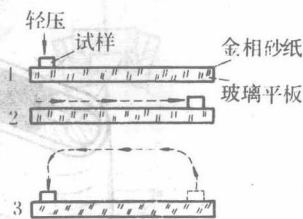
细磨是指用不同粒度的金相砂纸磨制观察面。常用方法有手工细磨及机械细磨两种。

① 手工细磨

手工细磨是将金相砂纸放在玻璃板上，一手按住砂纸，一手将试样观察面压在砂纸上，使整个面受压而均匀地向前推动，进行磨光。正确的操作姿势如图1-1-6所示。磨制过程中，必须注意以下几点：



(a)



(b)

图1-1-6 手工磨光操作

(a)操作姿势；

(b)正确磨光过程

i) 金相砂纸应从粗粒度到细粒度依次更换。一般钢铁材料可从磨料粒度为320号的砂纸开始直至1200号的砂纸为止；对于金相摄影用的试样需磨至磨料粒度为1600号的砂纸才行。

金相砂纸的粒度号见表1-1-1。

表1-1-1

金相砂纸的规格

磨料粒度号 微粉	砂纸代号	尺寸范围 μm	磨料粒度号 微粉	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			

ii) 每更换细一号的砂纸时, 试样和手应擦洗干净, 以防止上一道粗磨粒落于细砂纸上, 同时将试样磨制方向旋转 90° , 使新磨痕与旧磨痕垂直, 直到旧磨痕完全消失为止。

iii) 磨制较软的有色金属材料时, 为了防止磨料嵌入磨面, 可在砂纸上滴少许煤油。

②机械细磨

机械细磨是把各号水磨砂纸粘附在预磨机(图1-1-7)上进行磨光。磨制时, 将试样均匀地压在水砂纸上, 沿磨盘的径向缓缓地移动, 直至上一道磨痕完全消失后才能再更换到下一号的砂纸上继续磨制。机械细磨提高了磨光的效率, 同时由于砂纸上脱落的磨粒随流水冲走了, 从而保证了磨光的质量。机械细磨广泛用于生产及科学研究中。

市面上出售的水砂纸其粒度号从粗到细为180、240、320、400、500、600、800、900、1000号等。对于一般钢铁试样可用粒度为320号的水砂纸磨至粒度为800号的水砂纸为止。

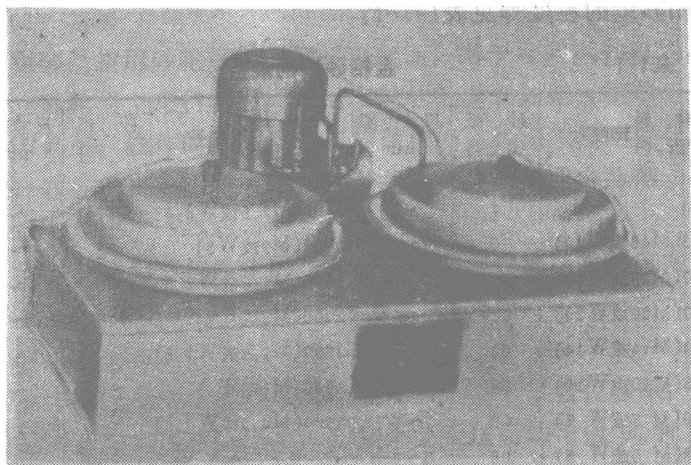


图1-1-7 M—2型预磨机

4. 抛光

抛光的目的是为了消除细磨时留下的磨痕，使观察面成为光滑无痕的镜面。常用的抛光方法有机械抛光法、电解抛光法、化学抛光法和三者的综合应用。

(1) 机械抛光

机械抛光是利用抛光微粉（磨料）与抛光面之间产生相对机械作用而使被抛光面变成光滑镜面的过程。机械抛光需在金相抛光机（图1-1-8）上进行。抛光机转盘上蒙有一层抛光织物，粗抛时常用的织物是帆布或呢布；细抛时常用金丝绒布。在抛光过程中，还要向织物上喷洒一定量的抛光液。抛光液是由抛光微粉和水配成的悬浮液。最常用的抛光微粉是氧化铝粉（ Al_2O_3 ）、氧化铬粉（ Cr_2O_3 ）。粗抛时采用颗粒尺寸为 $5\mu\text{m}$ 的抛光微粉放入适量的水中；细抛时则采用颗粒尺寸小于

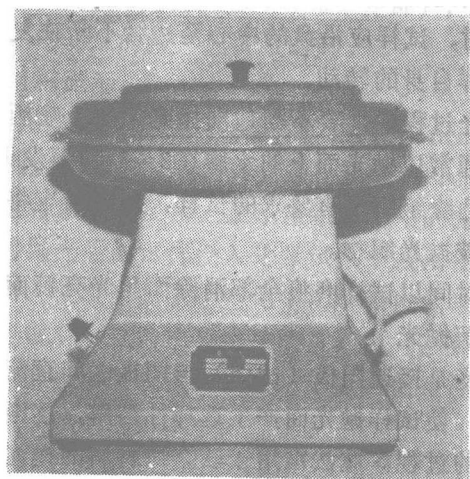


图1-1-8 P-1型机械抛光机

2 μm 的微粉放入适量的水中。

除上述抛光微粉外，金刚石抛光膏的使用也十分广泛。将其与适量的蒸馏水调成糊状，抹在抛光织物上就可进行抛光。通常粗抛时，采用磨粒尺寸为3.5 μm 的金刚石抛光膏；细抛时采用磨粒尺寸为1.5 μm 的金刚石抛光膏。由于金刚石抛光膏硬度极高（莫氏硬度10），磨削速率大，因此可获得比氧化铝等微粉更好的抛光效果。

要获得良好的抛光面，还应注意以下几点：

①抛光前试样一定要清洗干净，绝不可将粗磨粒带入抛光盘中。

②将试样从靠近转盘的中心处放下并与抛光织物接触。手对整个抛光面施加的压力应均匀适当，如果施力过大，试样观察面将会发热并变得灰暗；如施力太小，磨光时遗留的磨痕又

难以抛掉，因此用力必须适当。

③抛光时，试样应沿盘的中心至边缘不断往复移动，同时还应注意试样自身的转动。

④在抛光过程中，要不断地向抛光织物上喷洒抛光液，抛光盘的湿度通常以抛光面上的水膜在2~3s内蒸发干为宜。

⑤对于边缘组织没有要求的试样，抛光前应将试样棱角倒圆，以免划破抛光织物。

⑥抛光时间以试样磨痕全部消除而呈光亮镜面为准。

(2) 电解抛光

电解抛光是接通阳极（试样）与阴极之间直流电源，在电解液作用下，使试样抛光面产生选择性溶解，逐渐使抛光面达到光滑平整的过程。此法常用于软金属材料的抛光，且需在专用的电解抛光设备上进行。图1-1-9为一自动电解抛光装置。它主要由两部分组成：一部分是电解槽系统（图1-1-9中右部），其中有阴、阳电极，电解液容器和一个耐蚀的电磁搅拌

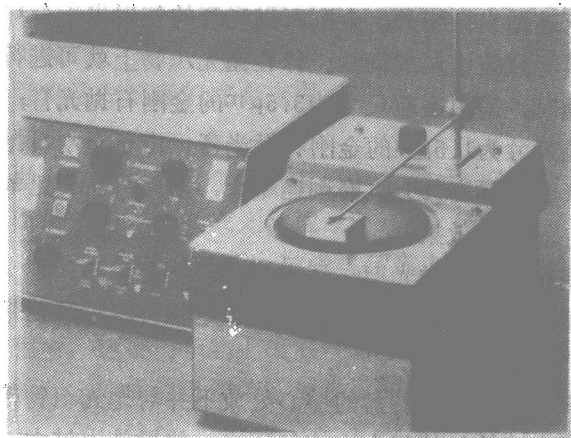


图1-1-9 自动电解抛光仪

器，另一部分是控制系统（图1-1-9中左部），可控制电压、电流密度、电动泵的搅拌速度及时间。

4. 组织显示

抛光后的试样，如果不经浸蚀，直接放在显微镜下观察，则只能看到观察面上的非金属夹杂物及裂纹等。若要观察组织，还需进行组织的显示。显示组织最常用的方法是化学浸蚀法，它是将抛光后的试样浸入化学试剂中或用化学试剂擦抹试样的观察面，使观察面上产生化学溶解和电化学溶解。试样经一定时间浸蚀后，立即用清水冲洗观察面（必要时再用酒精洗一下），并用吸水纸或吹风机及时干燥，便可进行组织观察。常用的化学浸蚀剂见附录一。

图1-1-10为工业纯铁经4%硝酸酒精溶液浸蚀后，在显微镜下观察到的组织特征。

由图1-1-10(b)可见晶界显示出黑色细线，晶粒显示出白亮色块状，当延长浸蚀时间时，由于各晶粒的位向不同，所以溶解程度也不相同。因此，在显微镜下晶粒呈现出明暗不同的颜色〔图1-1-10(c)〕。

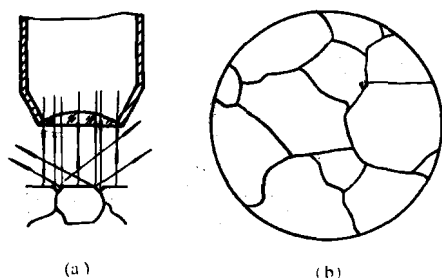
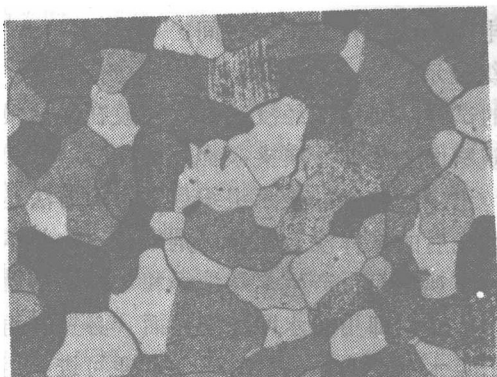


图1-1-10 纯铁组织显示原理

(a) 晶界处光线的散射， (b) 纯铁显微组织示意图

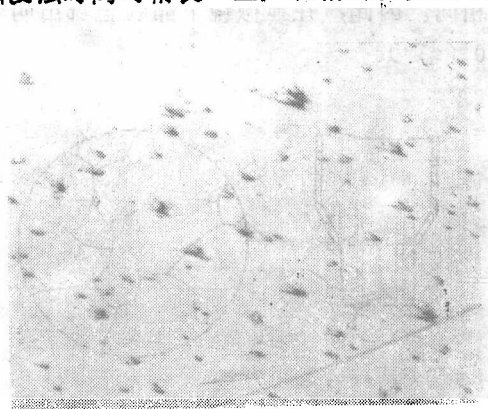


(c)

图1-1-10 纯铁组织显示原理

(c) 深浸蚀纯铁显微组织

化学浸蚀的时间应根据组织特点和观察时的放大倍数来确定，在一般情况下，以抛光面微微发暗失去金属光泽为宜。对于单相组织浸蚀时间可稍长一些；双相组织浸蚀时间应短一



(a)

图1-1-11 金相试样制备中的缺陷

(a) 麻点