

钢中非金属夹杂物鉴别

张德堂 编著

国防工业出版社

75-613
552
0.2

钢中非金属夹杂物鉴别

张 德 堂 编 著

※518/21

国防工业出版社

内 容 简 介

本书全面系统地阐述了钢中非金属夹杂物的鉴别方法,内容丰富、实用性强。利用光学金相显微镜、电子探针、扫描电镜、透射电镜电子衍射和 X 光结构分析仪等现代分析手段,通过形貌-成分-结构三者紧密结合的综合分析方法,确定了各类夹杂物的光学、力学和化学性质,并附有大量的典型照片;还介绍了各类夹杂物的变形性及对性能的影响,同时附有大量有价值的夹杂物与钢基体之间断裂过程的照片。本书通过许多典型缺陷示例,对夹杂物的性质、来源及危害性进行了细致的分析,为进一步了解夹杂物的性质、改善钢材质量提供了重要的依据。

本书对从事材料研究、材质检验的人员及大专院校材料和金相热处理专业及其它有关专业的广大师生均有参考价值。

钢中非金属夹杂物鉴别

张德堂 编著

国防工业出版社 出版 发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

邮政编码 100044

新华书店经售

新时代出版社印刷厂印装

787×1092 毫米 16 开本 19 印张插页 2 445 千字

1991 年 6 月第 1 版 1991 年 6 月北京第一次印刷 印数:0 001—2 200 册

ISBN 7-118-00829-X/TG·63 定价:23.00 元

前 言

随着科学技术的发展,对钢材的质量提出了更高的要求。特别是在高强度结构钢中,非金属夹杂物对疲劳性能的影响,引起了人们的广泛注意。目前普遍认为氧化物,尤其是铝酸钙、氧化铝和尖晶石型夹杂物引起的应力集中最为严重,这些夹杂物对钢材(或零件)的疲劳性能具有明显的危害性,往往成为疲劳裂纹萌生之源,导致早期疲劳破坏。因此,国内外科研工作者在这方面进行了广泛和深入的研究。近二十年来,对钢中非金属夹杂物的研究已逐渐成为一个分支科学。

钢中非金属夹杂物种类繁多,因此非金属夹杂物对钢性能的影响也是一个十分复杂的问题,它不仅取决于夹杂物的类型,而且与其组成、形态、数量、大小及分布等因素密切相关,研究和了解诸因素与钢性能之间的关系,对控制和改善钢材的质量极为重要。

由于非金属夹杂物在钢中的存在形式比较复杂,它的类型、形态、尺寸、组成与结构等常常随着钢的成分、脱氧制度、冷却速度及其他处理条件的变动而变化,所以鉴定钢中非金属夹杂物仅仅应用某一门技术难以满足要求,必须应用各种技术从不同的角度进行综合分析。本书着重总结了钢中非金属夹杂物的综合鉴定方法。利用光学金相分析方法,除了可观察夹杂物的大小、形状、分布、本来色彩、光学特征外,还可研究各类夹杂物与钢基体之间的变形行为。根据夹杂物的光学性质、化学性质、力学性质及变形能力,可以确定夹杂物的属类。在研究中,作者充分利用了正交偏振光的特点和功能,仔细地研究了各类夹杂物的光学性质,为准确的确定夹杂物的属类提供了可靠的判据。在光学金相鉴定的基础上,还借助于电子探针 X 射线显微分析、电子显微镜电子衍射、X 射线结构分析、扫描电镜等方法,将形态、成分和晶体结构三者紧密地结合起来,准确无误地确定夹杂物的成分及结构,为追溯钢中非金属夹杂物的来源、改善冶炼工艺、提高钢材质量提供了重要的科学依据。

本书是作者十多年来有关非金属夹杂物研究的工作总结,书中通过生产实践中出现的冶金缺陷的典型示例,详细地介绍了钢中非金属夹杂物的分析方法及程序,尤其是第七章夹杂物对钢性能的影响,介绍了各类夹杂物与钢基体之间的变形行为,研究了钢中夹杂物在延性断裂和疲劳断裂过程中,夹杂物与钢基体之间的断裂行为与机制,这些内容都是较新的研究成果,对材质检验及了解夹杂物对钢材性能的影响具有重要的参考价值。

由于钢中非金属夹杂物涉及的问题比较复杂,尤其是夹杂物对性能的影响因素较多,所以,在本书内容中难免出现一些错误及不妥之处,恳请读者提出宝贵意见并予以指正。

前 言

随着科学技术的发展,对钢材的质量提出了更高的要求。特别是在高强度结构钢中,非金属夹杂物对疲劳性能的影响,引起了人们的广泛注意。目前普遍认为氧化物,尤其是铝酸钙、氧化铝和尖晶石型夹杂物引起的应力集中最为严重,这些夹杂物对钢材(或零件)的疲劳性能具有明显的危害性,往往成为疲劳裂纹萌生之源,导致早期疲劳破坏。因此,国内外科研工作者在这方面进行了广泛和深入的研究。近二十年来,对钢中非金属夹杂物的研究已逐渐成为一个分支科学。

钢中非金属夹杂物种类繁多,因此非金属夹杂物对钢性能的影响也是一个十分复杂的问题,它不仅取决于夹杂物的类型,而且与其组成、形态、数量、大小及分布等因素密切相关,研究和了解诸因素与钢性能之间的关系,对控制和改善钢材的质量极为重要。

由于非金属夹杂物在钢中的存在形式比较复杂,它的类型、形态、尺寸、组成与结构等常常随着钢的成分、脱氧制度、冷却速度及其他处理条件的变动而变化,所以鉴定钢中非金属夹杂物仅仅应用某一门技术难以满足要求,必须应用各种技术从不同的角度进行综合分析。本书着重总结了钢中非金属夹杂物的综合鉴定方法。利用光学金相分析方法,除了可观察夹杂物的大小、形状、分布、本来色彩、光学特征外,还可研究各类夹杂物与钢基体之间的变形行为。根据夹杂物的光学性质、化学性质、力学性质及变形能力,可以确定夹杂物的属类。在研究中,作者充分利用了正交偏振光的特点和功能,仔细地研究了各类夹杂物的光学性质,为准确的确定夹杂物的属类提供了可靠的判据。在光学金相鉴定的基础上,还借助于电子探针 X 射线显微分析、电子显微镜电子衍射、X 射线结构分析、扫描电镜等方法,将形态、成分和晶体结构三者紧密地结合起来,准确无误地确定夹杂物的成分及结构,为追溯钢中非金属夹杂物的来源、改善冶炼工艺、提高钢材质量提供了重要的科学依据。

本书是作者十多年来有关非金属夹杂物研究的工作总结,书中通过生产实践中出现的冶金缺陷的典型示例,详细地介绍了钢中非金属夹杂物的分析方法及程序,尤其是第七章夹杂物对钢性能的影响,介绍了各类夹杂物与钢基体之间的变形行为,研究了钢中夹杂物在延性断裂和疲劳断裂过程中,夹杂物与钢基体之间的断裂行为与机制,这些内容都是较新的研究成果,对材质检验及了解夹杂物对钢材性能的影响具有重要的参考价值。

由于钢中非金属夹杂物涉及的问题比较复杂,尤其是夹杂物对性能的影响因素较多,所以,在本书内容中难免出现一些错误及不妥之处,恳请读者提出宝贵意见并予以指正。

目 录

第一章 非金属夹杂物显微鉴别方法

一、金相鉴别方法的优缺点	1
1. 金相鉴别方法的优点	1
2. 金相鉴别方法的缺点	2
二、试样的制备	2
1. 取样	2
2. 试样的装夹与镶嵌	5
3. 试样的磨光	8
4. 试样的抛光	15
5. 试样制备对夹杂物鉴别效果的影响	19
三、明视场观察	22
1. 垂直照明	22
2. 斜射光照明	23
3. 显微镜的光源	25
4. 光栏的作用	26
四、明视场鉴别非金属夹杂物	29
1. 夹杂物的形状、大小及分布	29
2. 夹杂物的变形行为与形状的变化	33
3. 夹杂物的反射本领与色彩	39
五、暗视场观察	46
1. 应用暗视场照明的优点	46
2. 在暗视场中观察夹杂物的光学性质	47
六、偏振光观察	56
1. 偏振光照明	56
2. 偏振光的安装及调整	62
3. 偏振光在鉴别夹杂物中的应用	64
4. 应用偏振光观察夹杂物时的注意事项	79
七、相衬观察	80
1. 相衬附件	80
2. 相衬的基本原理	82
3. 相衬的应用	85
八、分别腐蚀法	88
九、显微硬度在鉴别夹杂物中	

的应用..... 98

1. 显微硬度压头的类型	99
2. 显微硬度计结构及调节	106
3. 测量显微硬度值的影响因素	113
4. 显微硬度的应用	116

十、彩色金相技术的应用

1. 彩色摄影原理	125
2. 提高图像衬度的方法	126

十一、高温金相技术

1. 高温金相显微镜	134
2. 高温金相技术在夹杂物研究中的应用	137

十二、钢中非金属夹杂物的定

量分析

1. 定量金相原理	144
2. 测量方法	145
3. 图像自动分析仪	161
4. 图像自动分析仪的应用	166
5. 图像自动分析的有关技术问题	170

第二章 扫描电子显微镜的应用

一、扫描电镜的基本原理

二、扫描电镜在夹杂物分析中

的应用

1. 形貌观察	173
2. 匹配断口的观察	176
3. 各种断口显微形貌的观察	177
4. 形貌图像的解释	185
5. 成分分析	188

三、观察非金属夹杂物的

有关技术问题

1. “异常现象”的出现	193
2. 改进措施	195

第三章 电子探针 X 射线显微分析

一、电子探针的工作原理和结构

..... 197

二、电子探针 X 射线显微分析法 及其应用	197	1. 金相观察	243
1. 定性分析	197	2. 电子探针成分测量	243
2. 定量分析	200	3. 结果讨论	246
3. 阴极发光	202	五、38CrMoAlA 汽缸筒缺陷分析	246
4. 对试样的要求	204	1. 金相观察	246
第四章 电子金相显微术的应用		2. 电子探针成分分析	248
一、复型	205	3. 结果讨论	251
1. 塑料一级复型	205	六、由折叠引起的缺陷	251
2. 碳一级复型	206	1. 金相观察	251
3. 投影技术	206	2. 电子探针成分分析	254
4. 塑料-碳二级复型	207	3. 结果讨论	254
二、萃取复型	209	第七章 夹杂物对钢性能的影响	
1. 萃取复型制备方法	210	一、夹杂物变形性对钢性能的影响	
2. 电子衍射结构分析	213	255
第五章 X 射线结构分析		1. 脆性夹杂物	255
一、电解分离法	215	2. 塑性夹杂物	258
二、机械萃取法	218	3. 半塑性变形的夹杂物	259
第六章 非金属夹杂物分析示例		二、夹杂物引起应力集中	260
一、涡轮盘缺陷分析	220	1. 应力位置	260
1. 金相观察	220	2. 夹杂物的尺寸和分布	263
2. 电子探针成分分析	225	三、夹杂物对钢延性的影响	267
3. 电子衍射结构分析	227	1. 夹杂物的形状对延性的影响	267
4. 结果讨论	228	2. 断裂过程的观察	268
二、38CrMoAl 伞齿轮缺陷分析	229	四、夹杂物对韧性的影响	280
1. 金相观察	229	1. 夹杂物数量和大小影响	282
2. 电子探针成分分析	233	2. 夹杂物间距的影响	282
3. X 射线及电子衍射结构分析	237	五、夹杂物对疲劳性能的影响	283
4. 结果讨论	239	1. 夹杂物变形性的影响	283
三、Cr18Mn8Ni5 不锈钢中夹杂物 分析	239	2. 夹杂物分布深度的影响	284
1. 金相观察	239	3. 夹杂物大小的影响	284
2. 电子探针成分分析	241	4. 夹杂物形状及分布的影响	288
3. 结果讨论	243	5. 夹杂物引起疲劳裂纹的显微机制	
四、30CrMnSiA 钢冶金缺陷分析	243	290
		参考文献	298

第一章 非金属夹杂物显微鉴别方法

金相显微镜是研究钢中非金属夹杂物的重要工具。近 20 年来,虽然现代物理冶金的研究工具有了飞跃的发展,但由于光学金相显微镜具有操作简便、造价低廉、功能多等特点,它不仅能够鉴别夹杂物的类型,而且还能了解其他许多情况,所以传统的金相技术至今仍被广泛应用。

一、金相鉴别方法的优缺点

钢中非金属夹杂物的测定方法,按其试样处理情况和所用设备的不同,基本上可分为三种:化学法、岩相法和金相法。前两种方法均需将夹杂物从钢的基体中分离出来。分离非金属夹杂物的过程乃是既困难又耗费时间的工作。化学分离会使一部分非金属夹杂物被溶解,不仅使化学稳定性差的硫化物溶解,甚至有些化学稳定性较强的氧化物也同样会遭到破坏,这样就使非金属夹杂物的天然形状难以保持。因此,化学法不能研究夹杂物的形状、大小、分布及变形能力,也无法研究夹杂物对钢材性能的影响。金相法则无此弊病,借助于金相显微镜可直接观察试样抛光表面上夹杂物的形状、大小和分布,并可研究夹杂物与材料性能之间的定量关系。

1. 金相鉴别方法的优点

(1)采用金相法时,观察者可直接通过金相显微镜观察试样抛光表面上夹杂物的形状、大小及分布,而不需要对夹杂物进行电解分离,从而避免了非金属夹杂物遭受化学试剂或电流的影响和外来杂质的干扰。

(2)金相显微镜造价低廉,操作方法简便,试验周期短,适合于生产中对产品和材料质量检验的需要。

(3)采用金相方法可直接观察夹杂物的形状、大小及分布,进而可研究钢中非金属夹杂物与金属基体之间的变形行为和断裂关系。这就为评价非金属夹杂物对金属材料性能的影响提供了重要的参考依据。

(4)由于体视学与定量金相技术的发展,使材料研究进入了三维组织形貌与材料使用性能建立内在联系的阶段。利用图像自动分析仪,可迅速而准确地测定钢中非金属夹杂物的含量、颗粒大小、质点间距和体积百分数,为合理地利用材料和科学地评定产品质量提供了可靠的分析数据。

(5)金相显微镜具有功能多的特点,目前大型金相显微镜都带有明视场、暗视场、偏振光、相衬、干涉相衬和显微硬度等附件。利用这些特殊的照明方式可确定非金属夹杂物的光学性质;利用显微硬度装置可测定非金属夹杂物的力学性质;利用彩色金相技术可提高各类夹杂物的衬度,并能如实地记录和反映各类夹杂物的本来色彩和光学特征。

(6)由于夹杂物在钢中的存在比较复杂,它的类型、组成、结构、形态和尺寸大小等常常随着钢的成分、冶炼条件、冷却速度和其他处理条件的改变而变化,有时仅用金相方法

不能满足要求,必须采用各种方法进行综合分析。在金相鉴别的基础上,可为电子探针成分测定和电子衍射结构分析提供最小的分析范围;否则仅用电子探针进行漫无边际的成分测定,会给分析工作带来困难,甚至造成分析上的错误。

2. 金相鉴别方法的缺点

(1)单独利用金相分析方法不能直接确定非金属夹杂物的化学成分及某些物理性质。

(2)由于非金属夹杂物在钢中的存在比较复杂,如果不和其他分析方法(电子探针成分测量和电子衍射或X射线结构分析)结合起来进行综合试验,单独采用金相方法不能全面地鉴定和研究未知的夹杂物相。

(3)采用金相方法虽然可以确定金属材料中非金属夹杂物的分布、数量、形状和大小,但往往受到金相磨面的限制。为了使所观察的夹杂物更具有代表性,可通过多取试样和多制作磨面的方法,提高典型夹杂物暴露的几率。

二、试样的制备

利用光学金相方法鉴别非金属夹杂物时,选择适当的、具有代表性的金相试样是极为重要的。金相试样的制备一般需要一定的程序:取样、机械装夹或镶嵌、磨光、抛光、清洗和浸蚀,其中每一步骤都各有许多方式,具体采用哪种方式均随材料的性质和试验的目的而定。在金相试样制备的整个过程中,每一个步骤都必须十分仔细,忽视任何一道工序,都会影响显微组织分析结果的准确程度。

1. 取样

利用光学金相方法鉴别钢中非金属夹杂物,最重要的一步是选取具有代表性的金相试样。如果取样不合理,就有可能造成非金属夹杂物漏检的危险,其后果不堪设想。取样时,若采用不适当的切割方式,就会在取样部位产生损伤或裂纹,这将给后面的工作带来严重的不良影响。切割试样应在良好的冷却条件下进行,严防试样烧伤,以便为下一步的试样制备提供一个完好的平面。

在检查金属材料质量或评定非金属夹杂物的等级时,试样截取的部位及尺寸应按照钢中非金属夹杂物评级标准中所规定的取样方法进行。通常取样部位应沿钢材或零件的轧制或锻造方向通过中心线切取试样,如图 1-1 所示。

对截面在 30mm 以下的圆形或方形棒材,按图 1-1(a)和(c)的方式取样;截面在 30mm 以上者,则按图 1-1(b)和(d)的方式取样。为了使金相试样的最终磨面通过棒材的中心,在切取试样时,应在被检面一侧留有 1~1.5mm 的磨制余量,以便磨制后,磨面保持在棒材的中心部位。

为了全面的了解钢中非金属夹杂物的形状、大小及分布特征,必须考虑材料或零件的加工变形情况。纵向(即平行于轧制或锻造方向)截取试样,可观察夹杂物变形后的形状及分布情况,鉴别夹杂物的属类并可分类评定夹杂物的等级。图 1-2 为纵向取样所观察的塑性夹杂物变形后的形状及分布特征。图 1-3 为纵向取样所观察的脆性夹杂物破碎并沿变形方向呈串链状分布的特征。横向(即垂直于轧制或锻造方向)截取试样,可观察到夹杂物变形后的截面形状、大小及分布情况。通过纵向和横向的取样观察,可进一步全面了解非金属夹杂物的变形行为以及三维形貌特征,如图 1-4 和 1-5 所示。

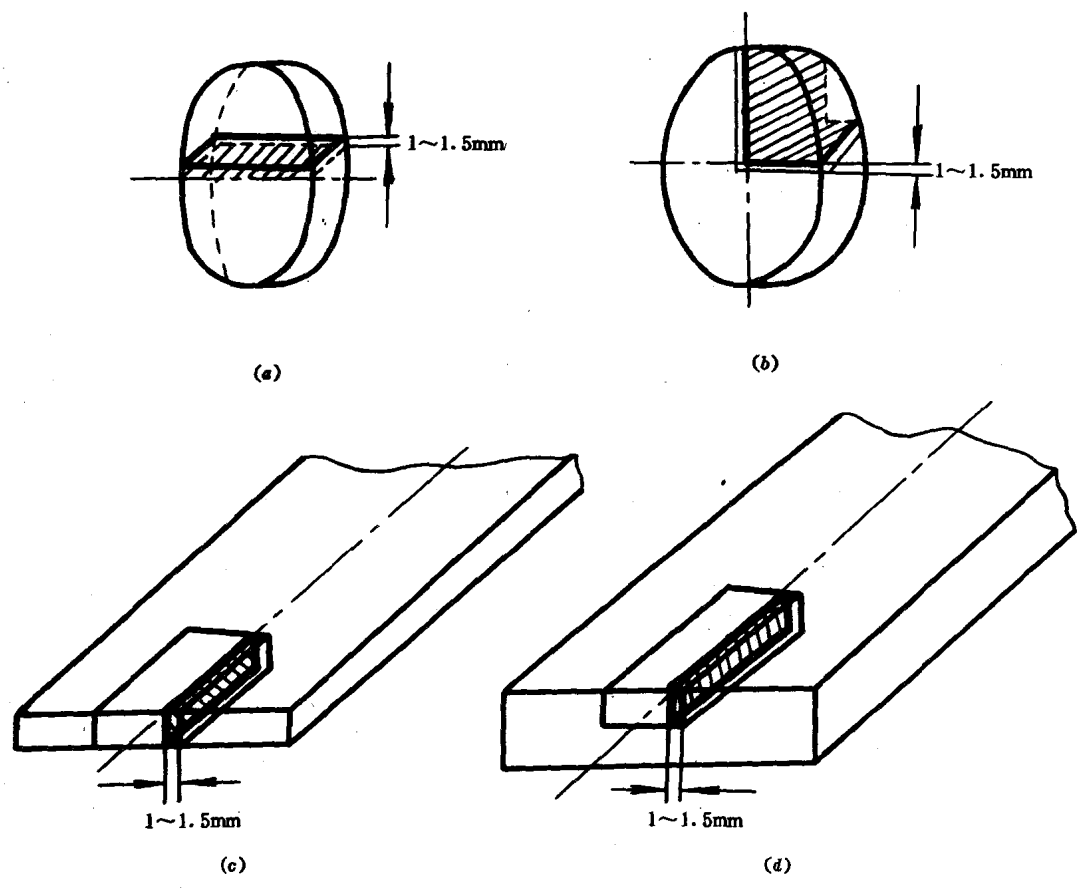


图 1-1 切取试样的示意图

(a)圆形材料取样(直径 $\leq 30\text{mm}$); (b)圆形材料取样(直径 $> 30\text{mm}$);
 (c)方形材料取样(厚度 $\leq 30\text{mm}$); (d)方形材料取样(厚度 $> 30\text{mm}$).

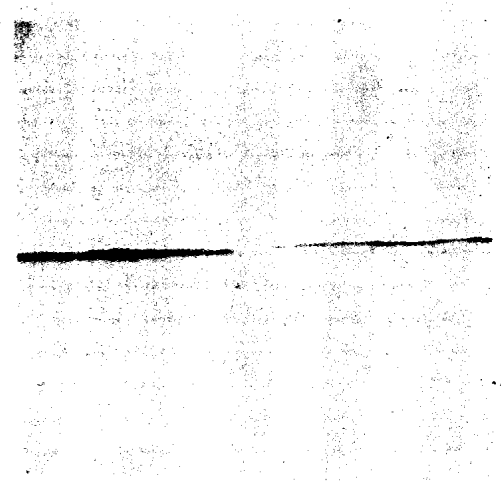


图 1-2 纵向取样:塑性硅酸盐沿着变形方向呈条带状分布 500 \times

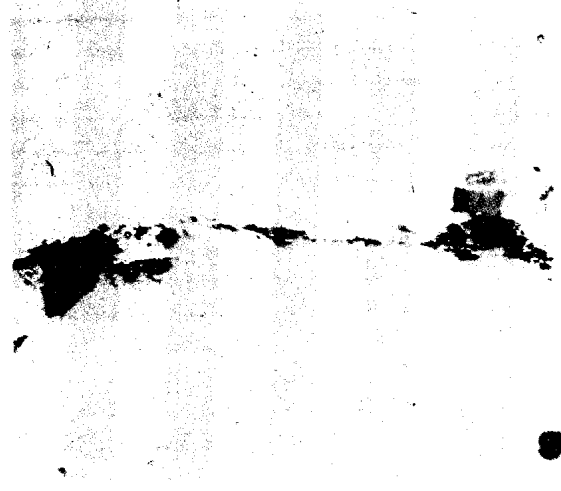


图 1-3 纵向取样:脆性铝酸钙夹杂物沿变形方向呈串链状分布 800 \times

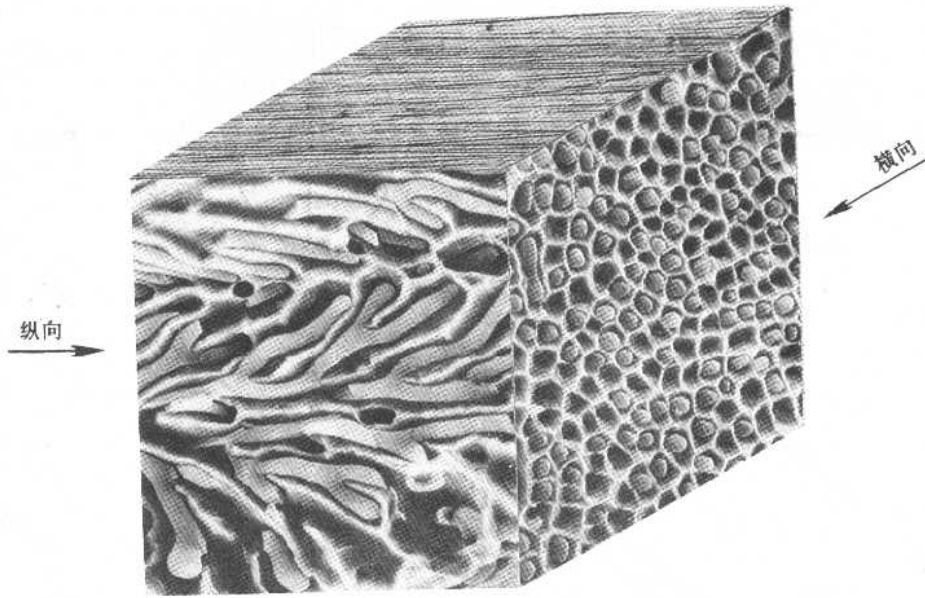


图 1-4 易削钢横向和纵向取样硫化物的形状
(扫描电镜观察断口的二次电子图像)

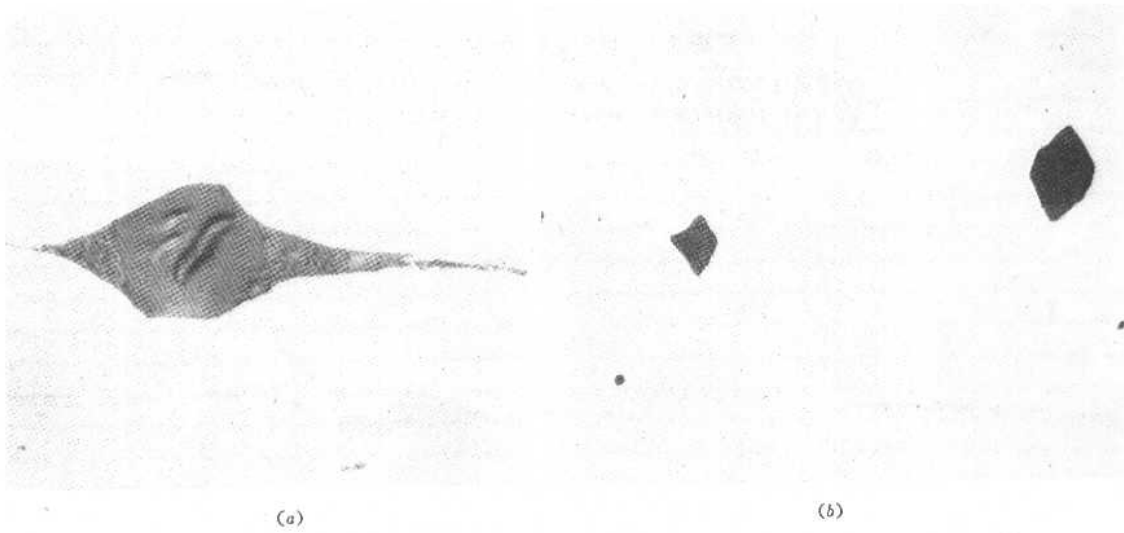


图 1-5 沸腾钢横向与纵向取样夹杂物的形貌特征
(a)纵向取样夹杂物的形状 500 \times ;
(b)横向取样夹杂物的形状 500 \times 。

2. 试样的装夹与镶嵌

金相试样的大小,在满足综合分析的基础上(电子探针成分测定或扫描电镜观察等),尽量以便于试样的制备为宜。对于形状不规则、尺寸过小或者边缘需要保护的试样,必须进行机械夹持或镶嵌,使之成为易于制备的规制试样。

(1) 机械夹持

机械夹持的方法很多,具体选择什么样的夹具,要根据试样的形状、大小和试验目的而定。在夹具或夹板中固定试样,特别适用于尺寸相同板材试样的成批检验或形状特殊的试样,具体的装夹方法如图 1-6 所示。

夹具材料的选择,要考虑金相试样和夹具材料的相互配合。尽量选择与金相试样硬度相近的材料制做夹具,以免在随后的磨光和抛光过程中,因硬度差而引起浮雕,影响制样的质量。

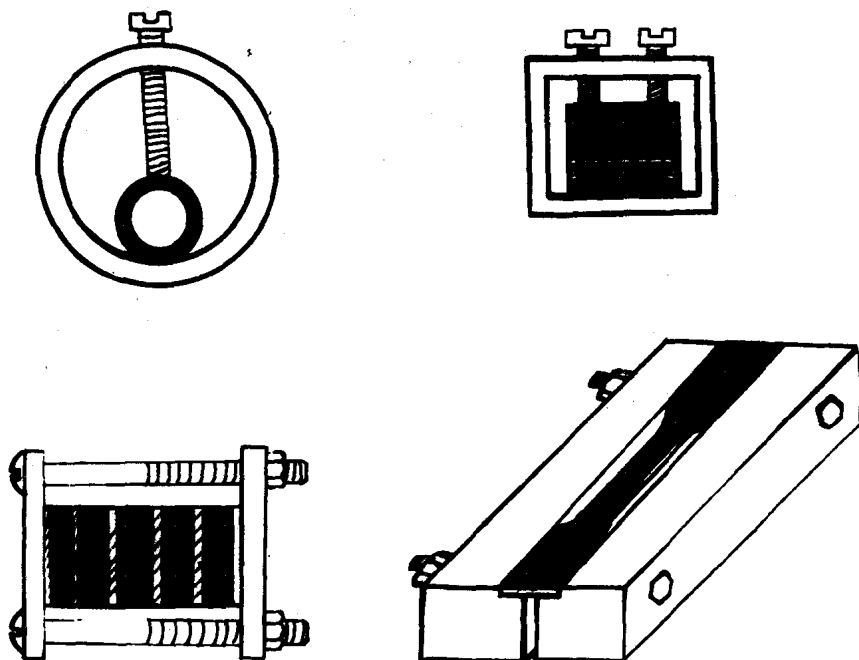


图 1-6 机械夹持的示意图

(2) 镶嵌法

镶嵌试样无论对手工或自动抛光都是安全、方便的支撑试样的方法。尤其是对带有缺陷和裂纹的试样,采用镶嵌法更有好处,可借助于环氧树脂良好的流动性填充试样的缺陷和裂纹。随着试样制备技术的发展,日趋走向自动化,也需要通过镶嵌的方法使金相试样规格化。镶嵌法按其所使用的材料和工艺不同,可分为热镶和冷镶。

(a) 热镶

热镶法采用热固性塑料或热塑性塑料做镶嵌料,放入模具内由压力机供给足够的压力,同时加热到一定温度,使粉末状树脂熔融并随时加压在模内成型。热固性塑料(胶木粉等),在一定的温度下($140\sim 160^{\circ}\text{C}$)加热加压,随着时间的增长发生不可逆的固化和硬化。热塑性塑料(如聚氯乙烯等)在一定温度和压力下熔融,然后在一定的压力下冷至较低的温度固化,但可反复加热重熔。

用胶木粉镶嵌的试样具有质地致密、光滑、硬度高、抗酸或碱腐蚀能力强等特点,如图 1-7 所示。

(b)冷镶(浇铸镶嵌)

冷镶法经常采用聚合塑料(如环氧塑料),即在环氧树脂中加入适当的胺类固化剂搅拌均匀的液体或浆,在室温下进行浇铸镶嵌,经 6~8h 即可常温固化,若加热至 50~60℃时,可大大缩短固化时间。

冷镶所用的浇铸模可采用硅橡胶制作,将配制好的环氧树脂铸入已放置试样的硅橡胶模具里。固化后,利用硅橡胶良好的弹性可以很容易地进行脱模,如图 1-8 所示。

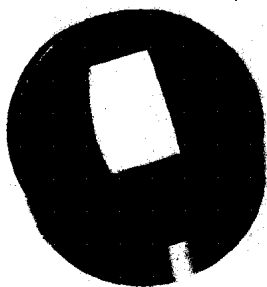


图 1-7 用胶木粉镶嵌的试样

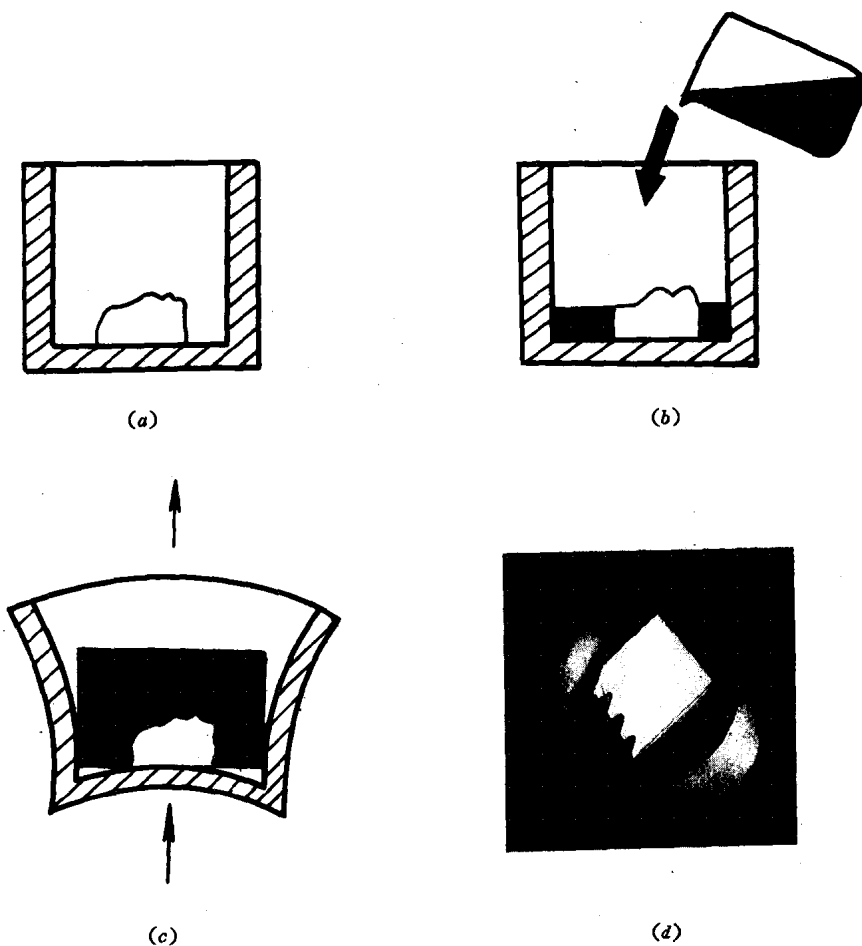


图 1-8 冷镶浇铸与脱模过程示意图

在制备带有疏松和裂纹的金相试样时,采用冷镶浇铸法可以防止磨料或外来杂质的污染。在镶嵌时,将带有裂纹的试样表面朝上放置在硅橡胶的模具里,借助于环氧树脂良好的流动性将裂纹或缺陷孔洞填充,如图 1-9 中箭头所指。

为了使金相试样中的微裂纹或缺陷都能被环氧树脂充实,可采用真空冷镶法,在真空中的负压下,可使金相试样中的微裂纹和空隙被环氧树脂填满,同时还可以排除环氧树脂中的气泡,获得高质量的镶嵌试样。

不论是热镶还是冷镶,都要求镶嵌料不与金相试样、模具和腐蚀剂发生化学反应,即具有良好的化学稳定性。在镶嵌过程中要有良好的粘度,但不易产生气泡。在凝固过程中要有较小的收缩性,但对金相试样要有良好的粘附性。为了使镶嵌料与金相试样的材料具

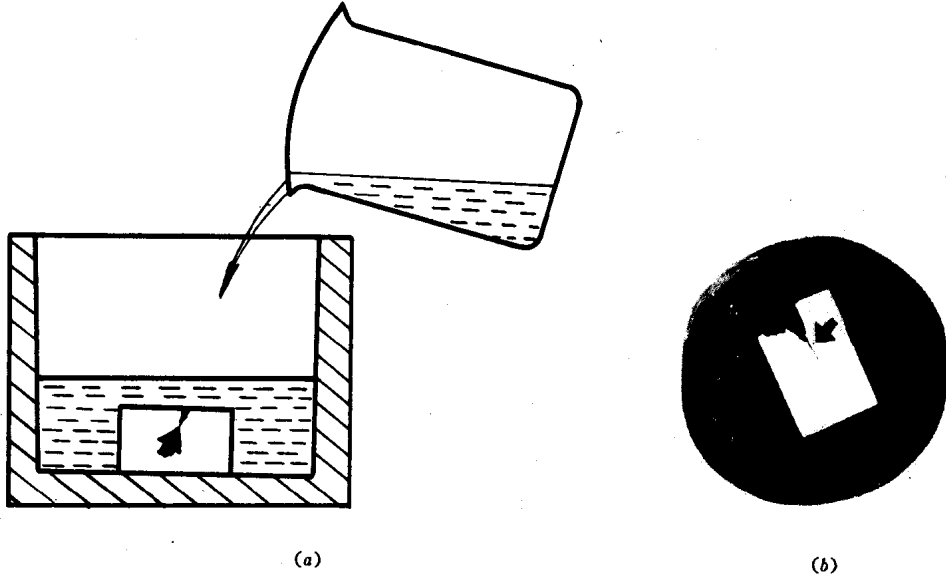


图 1-9 冷镶浇铸带有裂纹试样的方法

(a) 浇铸方法示意图; (b) 浇铸后的试样。

有相似的研磨和抛光性质,可加入某些硬的填充颗粒来提高镶嵌化合物的硬度,减少镶嵌材料与金相试样之间的硬度差。

良好的镶嵌试样为准确地分析非金属夹杂物的成分及判断夹杂物的来源提供了方便的条件。为了使镶嵌试样能够满足综合分析的要求(即电子探针成分测定或扫描电子显微镜观察等),试样应具有良好的导电性。为此可在镶嵌料中加入一定量的导电性较好的金属粉(如铜粉或银粉等),使整个镶嵌试样导电。另一种办法是将被镶嵌的金相试样放置在模具的边缘,镶嵌后再沿试样边缘打磨,使其露出金属试样的基体,以获得良好的导电性,如图 1-10 所示。

在分析极薄层中的非金属夹杂物时,由于表层很薄,给金相鉴别带来一定的困难。为了便于观察和测量,在保护金相试样边缘的基础上,可采用倾斜镶嵌技术来增加表层的厚度,具体方法如图 1-11 所示。

试样在模具中倾斜一定的角度,由图 1-11 可以看出,表层厚度与试样倾斜角具有一定的关系,即:

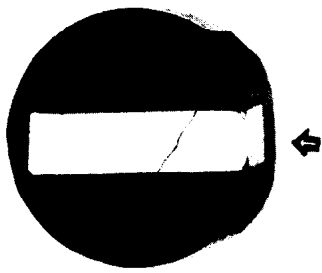


图 1-10 具有良好导电性的
镶嵌试样

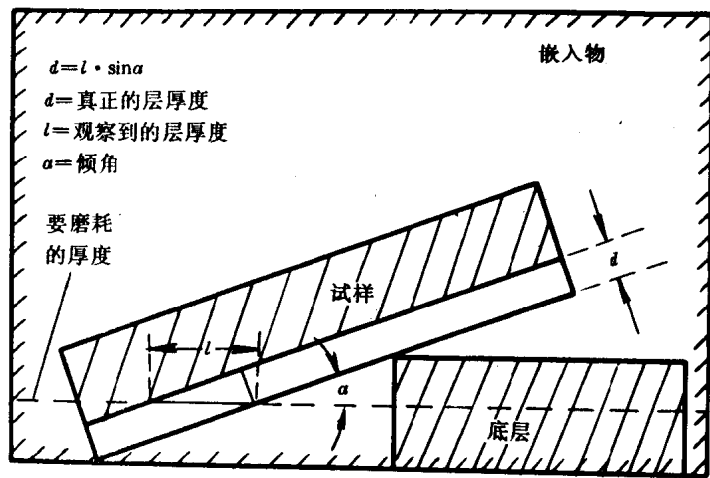


图 1-11 倾斜镶嵌示意图

$$d = l \cdot \sin \alpha$$

式中 d —表层的真实厚度, l —所观察到的表层厚度, α —试样倾斜的角度。测量表层的厚度与试样倾斜角的关系见表 1-1。表层厚度的增量随着试样倾斜角的减小而增加。

表 1-1 试样倾斜角与表层厚度增量的关系

表层厚度增量	倾 斜 角	表层厚度增量	倾 斜 角
25 : 1	2°20'	5 : 1	11°30'
20 : 1	2°50'	2 : 1	30°
15 : 1	3°50'	1.5 : 1	41°50'
10 : 1	5°40'		

3. 试样的磨光

粗磨和细磨是制备金相试样的基础, 经过磨光和抛光可逐渐消除试样表面的变形层, 以便最后显示出金属材料的真实显微组织形貌。

如果试样是从大块材料(或零件)上切割或用钢锯锯下来的, 试样经常带有尖锐棱角, 必须通过粗磨去掉棱角, 使它们在抛光时不致于刮坏抛光呢布; 同时通过粗磨来消除由热加工、热处理和机械加工形变所造成的严重损伤。粗磨在试样表面所留下的划痕深度为 $2 \sim 5 \mu\text{m}$, 细磨在试样表面留下的划痕深度为 $0.8 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 。

金相试样在砂纸上磨光时, 可将砂纸上的每颗磨粒看成是一把具有一定迎角的刨刀, 当磨粒的刃口与金相试样磨面的迎角大于临界迎角时(钢的临界迎角约为 90°), 磨粒对金属产生切削作用, 见图 1-12(a); 当磨粒的刃口与金相试样磨面的迎角小于临界迎角时, 磨粒对金属不产生切削作用, 锐利的磨粒只能在试样磨面上划一条沟痕, 如图 1-12(b)所示。

扫描电镜观察表明: 金相试样在磨光过程中, 只有少数磨粒起到切削作用(即整张砂纸上的砂粒只有少数磨粒与金相试样表面的迎角大于 90°), 而大部分磨粒只起划沟的作用。图 1-13 为 38CrMoAl 钢磨制后产生的切削和划沟的情况。试样经抛光后, 在 240 号砂

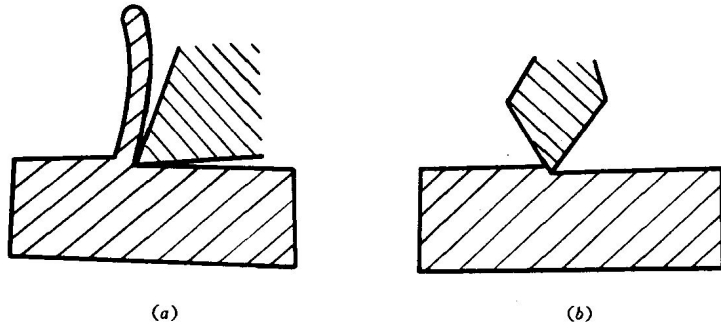


图 1-12 磨粒对金相试样切削的示意图

- (a)磨粒的刃口与试样表面的迎角大于 90° 时,磨粒对金属切削的示意图;
 (b)磨粒的刃口与试样表面的迎角小于 90° 时,磨粒对金属表面划沟的示意图。

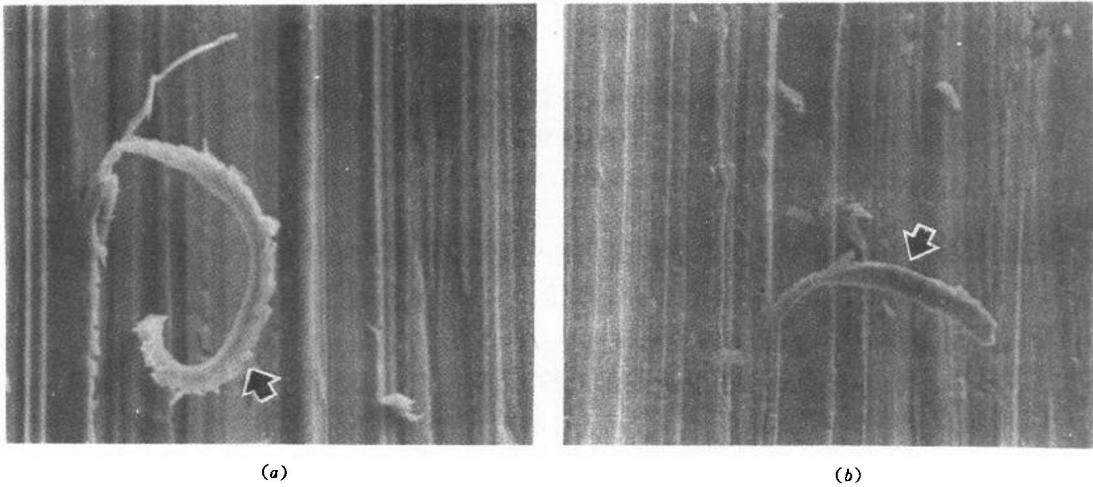


图 1-13 磨粒对金属表面切削和划沟作用

(扫描电镜二次电子照片)

- (a)和(b)中箭头所指为大于临界角的磨粒由于切削作用所产生的切屑(其余为划沟)。

纸上单向磨一次,随即用扫描电镜观察,可明显地看出不同迎角磨粒对试样表面切削和划沟的形貌特征。

由于钢中存在着非金属夹杂物,使整个金属基体受到隔离,从而破坏了金属基体的连续性。在磨制过程中,当磨粒刃口通过非金属夹杂物时,便会在非金属夹杂物与钢基体的界面处产生断屑现象(划沟也同样产生间断),使非金属夹杂物暴露于金相试样表面。此时,若稍不细心,就会使非金属夹杂物从钢基体中脱落。图 1-14(a)和(b)分别为含有单颗夹杂物和聚集分布夹杂物的试样,在磨制过程中非金属夹杂物暴露于金属表面的情况。

从图 1-14(a)中可明显看出,在无非金属夹杂存在的基体处,有磨屑和连续的磨痕存在,而在非金属夹杂物存在之处,当磨粒刃口通过非金属夹杂物时,则在夹杂物与金属基体的界面处产生磨屑和磨痕的间断现象,使非金属夹杂物的形状暴露于金属表面。图 1-14(b)为聚集分布的非金属夹杂物,在磨制过程中,使磨屑和磨痕在此区域间断,聚集的非金属夹杂物则暴露于磨屑和磨痕的间断区域之中,所以在磨制过程中必须备加注意,防止夹杂物剥落。

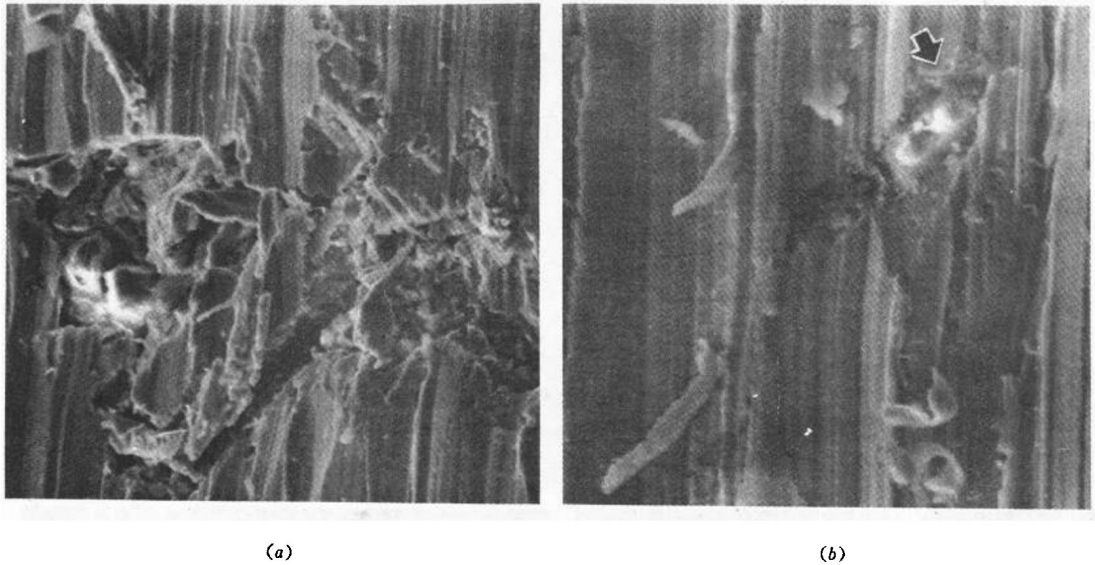


图 1-14 非金属夹杂物暴露于金属表面的形貌特征

(扫描电镜二次电子图像)

(a)箭头所指为单颗夹杂物处断屑的形貌；(b)夹杂物聚集分布区域磨制后的形貌。

在磨光过程中,不论是手工操作还是机械磨光,均由粗到细逐级磨平,每更换一次砂纸,不仅要消除上道工序在试样表面留下的磨痕,而且还要通过在不同粒度的砂纸上磨光,得到磨痕较细和变形层较浅的平面。

试样表面的变形主要是在粗磨阶段形成的,而塑性变形则大部分出现于抛光阶段,如图 1-15 所示。

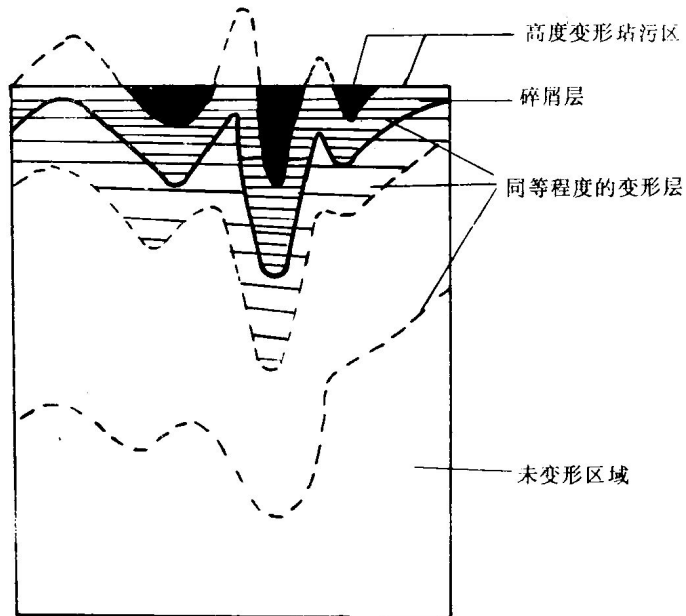


图 1-15 磨光和抛光后金相试样表面区域的结构

(剖面垂直于试样表面)