

金相研究方法

姚 鴻 年 編

业出版社

金相研究方法

姚鴻年編

31690/15

中国工业出版社

本书系編者根据多年教学实践并参考国内外有关资料編写而成，內容比較丰富。

本书共分上下两篇。上篇介紹金相研究基础，下篇討論金相研究的一些特殊方法。

本书适用于工厂試驗室和研究机关的一般金相研究人員，亦可供大专学校金相专业学生参考。

金 相 研 究 方 法

姚 鴻 年 編

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯

(北京市灯市口 71 号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路丙 10 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 110 号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $24^{1/2}$ · 字数 575,000

1963 年 3 月北京第一版 · 1965 年 4 月北京第三次印刷

印数 3,341—10,610 · 定价 (科七) 3.40 元

*

統一书号: 15165 · 1944 (冶金-291)

11850

序 言

随着具有各种性能的金属材料的不断出现和在工业技术中的广泛应用，人们便越益寻求和采用各种方法来深入地研究金属与合金的本质、它们的性能与组织间的内在联系等等。在这些方法中，以金相研究方法为最基本、最重要，应用亦最广泛。编写本书的目的即在于较系统、较全面地介绍有关金相研究的一些问题，供金相研究工作者及金相专业学生参考。

本书分上下两篇，上篇为金相研究基础，下篇讨论近代金相研究的一些特殊方法。

上篇金相研究基础包括金相试样的制备（第一至第五章）、光学基础与金相显微镜（第六、第七两章）、金相研究实用技术与检定标准（第八至第十一章）三部份。

金相试样的制备是金相研究中极为重要的工序，包括试样的截取、镶嵌、磨光、抛光与金相组织的显示五步操作。在第四章里，对于金相试样的抛光进行了较为全面的讨论，因为我们最后在金相显微镜下所观察到金相组织的真实性，在很大程度上取决于试样抛光的好坏。为此，本章从抛光原理开始较详细地说明一些基本问题，以期读者能掌握最合适的抛光操作方法。

金相组织的显示以往仅限于化学浸蚀方法和电解浸蚀法，因用这两种方法可明显地显示单相及两相组成的合金，因此最常用；但是对于多相合金的金相组织，必需在一定条件下，靠着有效的选择性溶解或选择性沉积（着色），才有可能区别出各组成相。除了化学浸蚀、电解浸蚀外，近来还采用许多特殊的物理显示方法，如热染、热蚀、阴极真空显示法及磁场金相组织显示法等。其中某些方法对多相复杂合金的组织显示尤为重要。这些内容都在第五章内加以说明。

金相显微镜是金相研究最主要的工具，用于观察磨面上所显示的金相组织。随着几何光学及物理光学的发展，金相显微镜日趋完善。为了能够正确熟练地使用各种现代的金相显微镜，就必需对几何光学及物理光学中的一些基本问题有所了解。本书用一章（第六章）的篇幅讲述了金相显微镜的理论基础。首先简短地对几何光学作一概述，随后对物镜和目镜的种类、性能作了较为全面的讨论，总结了放大倍数与数值孔径、鉴别能力之间的关系，这是正确地选择放大倍数的依据。除此以外，还阐述了物镜造像时的像域弯曲现象，因这是摄取优良的金相底片所必需注意的问题。在第七章中，介绍了各种金相显微镜的结构、性能与使用要则等。

第八章介绍金相显微摄影技术，主要讨论黑白底片的摄影技术，这是金相研究中所经常进行的工作。随着电影事业的发展，彩色摄影亦已被应用到金相研究中来，以补充黑白摄影的不足。所以在本书第九章里专门对彩色摄影的一些基本问题作了说明。

晶粒度的测定（第十章）、非金属夹杂物的鉴定与石墨的评级（第十一章）都是金相研究中时常遇到的问题，是检定金属材料质量的一个重要手段；这几章中还附有一些冶金部颁或暂行的金相检验标准。

本书下篇讨论近代金相研究的一些特殊方法。

紫外线具有较短的波长，被用在金相显微镜中以期提高显微镜的有效放大倍数；近

来更借多相合金中各組成相对不同波长紫外綫的吸收特性，发展成彩色映象法；除了紫外綫以外，最近还成功地利用紅外綫透射在显微鏡下对单晶硅晶体內的位錯进行了研究。有关紫外綫、紅外綫照射下金相組織的研究在第十二章內討論。

近年来，在金相研究中已成功地运用了在高溫及低溫下直接观察金相組織的方法（第十三章）。借助于真空高溫（低溫）台，可在一較大溫度範圍內直接研究金相組織的变化。这对于相变、蠕变、再結晶等方面的研究具有极为重要的意义。

在第十四章里，对偏振光在金相研究中的应用作了較全面的討論。随着光学仪器的日趋完善，一般金相显微鏡大多备有偏振附件。本章从基本理論出发，对偏振光在各向異性、各向同性金相磨面上的反射作了分析，对椭圆偏振現象的形成也作了說明，最后还列举了一些应用实例。

相衬金相研究（第十五章）与多光束、单光束干涉仪在金相研究中的应用（第十六章）都是最近才开始的。这两种方法均系建筑在光波的干涉理論上；在大多数情况下将二者配合使用，可有效地研究表面浮凸，如馬氏体式相变、形变、位錯螺旋生长等等。

电子显微鏡在金相研究方面的作用已經越来越显得重要，它的鑑別能力大大超过了光学显微鏡（提高二数量級），为探索組織的极微細部份提供了条件。本书第十九章着重討論透射式电子显微鏡的原理、构造与应用。在透射式电子显微鏡下研究金相組織必需借助复型間接地观察金相磨面上的組織。利用复型間接研究的方法，在目前金相研究中是最普遍的而又几乎是唯一的方法。本章用一节篇幅詳細地介紹了各种复型的制备方法。在这一章的最后还介紹了利用反射式、发射式电子显微鏡直接研究金相磨面的方法。虽然这二种方法目前还应用得很少，尚在发展初期，但这二种方法对某些金相問題的研究（相变、析出等）具有极为重要的意义。

本书最后一章討論了X射綫显微鏡与示踪原子在金相研究中的应用。这是金相研究中最最新的技术。本章着重討論接触法与投射法X射綫金相研究。利用各相质量吸收系数的差别，配合使用微粒底片，可以获得极为滿意的結果。示踪原子的自放射現象，基本上与接触法X射綫研究相同，故同列于本章內。

本书还对断面金相研究（第十七章）、显微硬度（第十八章）作了全面的闡述。

在本书的編写过程中，曾得到了少臣、向长勋、吳祖方、樓秋圓等同志在金相工作中很多的帮助；本书下篇各章分別由徐紀楠、肖宜雍、毛志远等同志校閱。本书的写成是与他們的大力协助分不开的，作者在此謹向他們表示感謝。

由于編者知識所限，謬誤之处在所难免，敬希讀者指正。

姚鴻年

1960年国庆节于杭州

01270

目 录

序 言

上篇 一般金相研究方法

第1章 金相試样的截取	1
§ 1 金相試样截取准则	1
§ 2 金相試样的截取方法	2
§ 3 斜面截切的应用	5
第2章 金相試样的鑲嵌	7
§ 1 低熔合金鑲嵌法	7
§ 2 塑料鑲嵌法	7
(1) 热凝性塑料	9
(2) 热塑性塑料	9
(3) 化学聚合塑料	9
§ 3 机械鑲嵌法	10
§ 4 表层(边缘)檢驗金相 試样的准备	10
第3章 金相試样的磨光	13
§ 1 粗磨	13
§ 2 細磨	14
(1) 手工磨光	14
(2) 机械磨光	16
(3) 化学机械磨光	18
第4章 金相試样的抛光	20
I 机械抛光	
§ 1 机械抛光理論	20
§ 2 机械抛光设备	21
§ 3 抛光材料	22
(1) 抛光微粉	22
(2) 抛光絨物	27
§ 4 金相抛光操作	27
(1) 粗抛光	27
(2) 精抛光	28
(3) 表层变形层金屬的去除	29
§ 5 有色金属、鑄鉄与硬質 合金抛光技术	31
(1) 鋁及其合金	32
(2) 鎂及其合金	32
(3) 銅及其合金	32
(4) 鉛及其合金	33

(5) 錫及其合金	33
(6) 鋅及其合金	33
(7) 灰口鑄鉄、可鍛鑄鉄及球墨鑄鉄	35
(8) 硬質合金	36

II 电解抛光

§ 6 电解抛光原理	37
§ 7 电解抛光用电解液	39
(1) 过氯酸类电解液	40
(2) 铬酸类电解液	41
(3) 正磷酸类电解液	42
§ 8 电解抛光设备与操作	42
(1) 自动电解抛光仪	43
(2) 微小电解抛光仪	44

III 化学抛光

§ 9 化学抛光原理与操作过程	45
-----------------------	----

第5章 金相显微組織的显示

I 化学浸蝕

§ I 化学浸蝕原理	51
(1) 純金屬及单相合金的浸蝕	51
(2) 二相合金的浸蝕	52
(3) 多相合金的浸蝕	54
§ 2 浸蝕剂	56
§ 3 化学浸蝕操作	58
(1) 工作条件及设备	58
(2) 浸蝕操作	59

II 电解浸蝕

§ 4 电解浸蝕概述	59
------------------	----

III 金相組織特殊显示法

§ 5 热染	60
§ 6 热蝕	61
§ 7 阴极真空显示法	62
§ 8 磁场金相研究 (磁性組織显示法)	63

第6章 显微镜理論基础

I 几何光学概述

§ 1 稜鏡	67
(1) 折射稜鏡	67
(2) 反射稜鏡	67
§ 2 透鏡及透鏡的成像像差	68

- (1) 透鏡的形式.....68
- (2) 透鏡的成像.....69
- (3) 透鏡的像差.....70
- (4) 透鏡的作用.....72

II 顯微鏡物鏡

§ 3 物鏡的类型.....73

- (1) 消色差物鏡及平面消色差物鏡.....74
- (2) 复消色差物鏡及平面复消
色物鏡.....74
- (3) 半复消色差物鏡.....75
- (4) 石英单色光物鏡 (紫外綫用物鏡) 75

§ 4 物鏡的性质.....76

- (1) 放大率.....77
- (2) 数值孔径.....77
- (3) 鑑別能力 (鑑別率).....78
- (4) 垂直鑑別能力 (景深).....79
- (5) 像域弯曲程度.....79
- (6) 放大倍数与数值孔径、鑑別能力
之間的关系.....80
- (7) 物鏡的某些参考数据.....82

III 顯微鏡目鏡

§ 5 目鏡的类型.....83

- (1) 福根 (負型) 目鏡.....83
- (2) 雷斯登 (正型) 目鏡.....84
- (3) 补偿型目鏡.....84
- (4) 放大型目鏡.....85
- (5) 測微目鏡.....85
- (6) 双眼目鏡筒.....86
- (7) 示教目鏡.....87

第 7 章 金相顯微鏡.....88

I 金相顯微鏡的光源与照明方式

§ 1 光源与光源装置.....88

- (1) 鎢絲灯泡.....89
- (2) 碳弧灯.....90
- (3) 鎢弧灯泡.....92
- (4) 鎢弧灯泡.....92

§ 2 光源的使用方法.....93

- (1) 临界照明.....93
- (2) 散光照明.....93
- (3) 平行光綫照明.....94
- (4) 提高照明亮度的途径.....94

§ 3 照明方式和各种垂直照明器.....95

- (1) 明視场照明.....95
- (2) 暗視场照明.....99

II 金相顯微鏡的光程与光程調节

§ 4 金相顯微鏡的光学行程.....102

§ 5 光栏的作用.....103

- (1) 孔径光栏的調节.....103
- (2) 視域光栏的調节.....103

§ 6 滤色片的作用.....105

III 各种型式之金相顯微鏡

§ 7 台式金相顯微鏡.....108

§ 8 臥式金相顯微鏡.....109

§ 9 立式金相顯微鏡.....111

§ 10 金相顯微鏡摄影附件.....113

- (1) 袖珍型摄影附件.....113
- (2) 标准型摄影附件.....114
- (3) 木制简单摄影暗箱.....115
- (4) 电影摄影装置 (高速連續记录) 116

IV 光学仪器的保养

§ 11 仪器的保养.....116

§ 12 光学零件的发霉与防霉.....117

第 8 章 金相顯微摄影技術.....119

I 摄影原理概述

§ 1 摄影感光材料的性质.....119

- (1) 感色性.....119
- (2) 感光速度.....120
- (3) 伸縮性.....121
- (4) 鑑別能力 (底片分析能力).....122
- (5) 反差性.....122

§ 2 底片的曝光.....123

- (1) 試摄法.....124
- (2) 光电表測定法.....124

§ 3 負片显影原理.....126

- (1) 显影液的种类、成份与性能.....127
- (2) 显影原理与影响显影的因素.....128

§ 4 負片定影原理.....129

II 暗室技术

§ 5 底片的冲洗.....131

- (1) 底片冲洗过程.....131
- (2) 負片的缺陷.....133
- (3) 負片的減薄与加厚.....134
- (4) 負片的涂紅与修飾.....134

§ 6 印相与放大.....135

- (1) 相紙的种类与性质.....135
- (2) 相紙的选择.....135
- (3) 印相.....137
- (4) 相紙的冲洗.....138
- (5) 照片的缺陷.....138

第9章 彩色摄影在金相研究上	
的应用	140
I 彩色摄影原理	
§ 1 彩色片的类型	140
§ 2 彩色片的性能	141
II 金相彩色摄影方法——彩色片的曝光	
§ 3 光源色温的测量与色温的校正	142
§ 4 彩色底片的曝光	143
III 彩色摄影暗室技术	
§ 5 彩色正片(反转片)	
显影方法	143
§ 6 彩色负片显影方法	144
§ 7 印相与放大	145
IV 彩色摄影的应用	
§ 8 应用简述	146
第10章 晶粒度的测定	147
I 鋼中晶粒度测定	
§ 1 鋼中奥氏体本质晶粒度的测定	148
(1) 奥氏体晶粒的显示	148
(2) 奥氏体晶粒度的評定	151
§ 2 鋼的实际晶粒大小测定	161
II 有色金屬晶粒度的测定	
§ 3 有色金屬晶粒度的評級与测定	165
第11章 非金属夹杂物的鑑定与	
石墨的評級	167
I 鋼鐵中非金属夹杂物的鑑定	
§ 1 非金属夹杂物的定性鑑定	167
(1) 非金属夹杂物的本性与主要特征	167
(2) 非金属夹杂物鑑定的步驟	169
§ 2 非金属夹杂物的定量鑑定	170
(1) 非金属夹杂物定量計算法	172
(2) 非金属夹杂物等級評定	174
II 鑄鐵石墨的評級	
§ 3 灰口鑄鐵片状石墨的評級	182
§ 4 球墨鑄鐵球墨大小的評定	196
下篇 特殊金相研究方法	
(金相研究的近代方法)	
第12章 紫外綫、紅外綫照射下	
金相組織的研究	198
§ 1 紫外綫显微鏡金相研究	198
§ 2 彩色映像法(变色法)	
金相分析	201

(1) 紫外綫金相显微鏡上三张底片的	
摄取	202
(2) 彩色映像台上彩色像的轉換	203
(3) 彩色映像法应用举例	204
(4) 紫外綫显微鏡中反射物鏡的应用	205
§ 3 利用紅外綫直接观察	
硅晶体中的位錯	206
第13章 高温金相研究及	
低温金相研究	208
I 高温金相研究	
§ 1 高温金相显微鏡装置	209
(1) 真空高温台的构造	209
(2) 高温金相研究用物鏡	211
(3) 高温金相显微鏡	213
§ 2 高温金相研究操作要点	213
(1) 温度的保持与测量	213
(2) 真空的保持	214
§ 3 高温金相在金属研究中的应用	214
II 低温金相研究	
§ 4 低温金相研究装置	216
第14章 偏振光在金相研究上	
的应用	221
§ 1 偏振光基本理論	221
(1) 天然光与偏振光	221
(2) 反射光的偏振	222
(3) 光的双折射現象——尼科尔稜鏡	222
(4) 偏振片	223
(5) 直綫偏振光的分析	223
(6) 圆偏振光与椭圆偏振光的形成	224
§ 2 偏振光在金相磨面上的反射	225
(1) 偏振光在各向異	
性金屬磨面上的反射	225
(2) 偏振光在各向同性	
金屬磨面上的反射	227
§ 3 偏振装置及其要点	229
(1) 偏振光金相显微鏡	229
(2) 光学零件的质量对	
偏振光研究的影响	231
§ 4 金相偏振光研究	233
(1) 金相磨面制备要点	233
(2) 应用举例	234
第15章 相衬金相显微鏡的应用	241
§ 1 相衬理論概述	241
§ 2 相衬金相显微鏡的工作原理	242

(1) 負相衬(明衬)的效果·····	243	§ 5 显微硬度值的探討·····	283
(2) 正相衬(暗衬)的效果·····	244	(1) 影响显微硬度值的因素·····	283
§ 3 相衬金相显微镜装置·····	244	(2) 不同組織显微硬度值的 比較标准·····	284
(1) 相衬金相显微镜·····	245	§ 6 显微硬度在金相研究上 的应用·····	285
(2) 相衬附件·····	246	第19章 电子显微镜在金相 研究中的应用·····	290
§ 4 相衬金相研究应用举例·····	247	§ 1 电子显微镜的原理与构造·····	292
(1) 滑移带的观察·····	248	(1) 电子束的聚焦·····	292
(2) 組成相分布形状的鑑定·····	249	(2) 电子显微镜的构造·····	293
(3) 增加映像的衬度·····	250	(3) 电子显微镜放大倍数的調节·····	295
第16章 干涉显微镜在金相 研究中的应用·····	252	§ 2 各种型式的电子显微镜·····	296
§ 1 光波干涉理論概述·····	252	(1) 苏联ЭМ-3 型电磁式显微镜·····	297
§ 2 林尼克干涉显微镜·····	253	(2) ROA、EMT型袖珍永磁式 电子显微镜·····	297
§ 3 多光束干涉显微镜·····	255	§ 3 利用电子显微镜研究金相 組織的方法·····	299
§ 4 应用举例·····	258	(1) 透射式电子显微镜金相研究·····	299
第17章 断口金相研究方法·····	262	(2) 反射式电子显微镜金相研究·····	307
§ 1 断口金相研究操作·····	262	(3) 电子发射式电子显微镜金相研究·····	308
(1) 試样断口的准备·····	262	第20章 X射线显微镜在金相研究中的应 用及示踪原子显微自 射线摄影技術·····	311
(2) 在金相显微镜上研究 断口的方法·····	263	I 显微X射线技术	
(3) 利用电子显微镜研究 断口的方法·····	264	§ 1 X射线基础·····	312
§ 2 断口形态分类·····	265	(1) X射线的产生, 連續X射线与 标识X射线·····	312
§ 3 断口金相研究应用举例·····	267	(2) X射线透过物体时的吸收現象·····	313
(1) 研究机件破裂的原因·····	267	§ 2 接触显微X射线技术·····	314
(2) 研究晶界面上的異相夹杂·····	270	(1) 接触法操作·····	314
第18章 显微硬度在金相 研究中的应用·····	273	(2) 接触法显微X射线技术的理論 分析与鑑別率·····	315
§ 1 显微硬度与显微硬度值·····	273	§ 3 投射式X射线显微镜·····	321
(1) 显微硬度压入头的类型·····	273	(1) 投射式X射线显微镜的原理·····	321
(2) 显微硬度值·····	274	(2) 投射式X射线显微镜的鑑別率·····	322
§ 2 苏联ПМТ-3型显微硬度計·····	275	§ 4 显微X射线金相研究·····	322
(1) ПМТ-3 显微硬度計的結構·····	275	II 放射性同位素示踪原子在 金相研究上的应用	
(2) 荷重机构的調整·····	277	§ 5 放射性与放射性蜕变·····	325
(3) 压痕位置的調整与 ПМТ-3 显微 硬度計的操作·····	278	§ 6 放射性金相样品的制备·····	326
(4) 压痕对角綫长度的測量·····	279	§ 7 显微自射线摄影技术·····	328
§ 3 哈納門(Hanemann)型显微硬 度計·····	280	§ 8 应用举例·····	329
(1) 哈納門型显微硬度計的 工作原理·····	280		
(2) 哈納門型显微硬度計的操作方法 与注意事項·····	281		
§ 4 都康(Turon)型显微硬度計·····	282		

— 附 录 —

附录 I 电解抛光及化学抛光资料... 332

表01 金相试样最常用的电解抛光液..... 332

表02 金相试样化学抛光溶液..... 343

附录 II 浸蚀试剂与组织显示资料... 347

化学浸蚀的化学试剂

表03 钢铁浸蚀剂..... 347

表04 铜及铜合金的化学浸蚀剂..... 350

表05 铝及铝合金的化学浸蚀剂..... 352

表06 镁及镁合金的化学浸蚀剂..... 353

表07 锡及锡合金的化学浸蚀剂..... 353

表08 铅及铅合金的化学浸蚀剂..... 354

表09 锌及锌合金浸蚀试剂..... 355

表10 镍及镍合金的化学浸蚀剂..... 356

表11 钛及钛合金的化学浸蚀剂..... 356

表12 稀有金属及其合金的化学浸蚀剂..... 357

表13 硬质合金(金属陶瓷合金)
的化学浸蚀剂..... 359

电解浸蚀试剂

表14 耐热钢及不锈钢的电解浸蚀规范及
电解浸蚀剂..... 359表15 钢及铸铁的电解浸蚀规范及
电解浸蚀剂..... 360表16 有色金属及稀有金属的电解浸蚀规范及
电解浸蚀剂..... 361

热染规范

表17 钢及铸铁的热染规范..... 362

表18 灰口铸铁的热染特征表..... 363

表19 显示晶体位错所用的浸蚀剂与
浸蚀规范..... 363

附录 III 摄影冲洗配方 365

《甲》黑白底片摄影配方 365

《乙》苏联彩色底片摄影配方..... 367

附录 IV 非金属夹杂物的特征 368

表20 简单氧化物夹杂的特征..... 368

表21 复杂氧化物夹杂的特征..... 369

表22 硅酸盐夹杂的特征..... 370

表23 硫化物夹杂的特征..... 371

表24 氮化物夹杂的特征..... 371

附录 V 显微硬度 372

表25 合金中各组成相的显微硬度值 H_m ... 372表26 硬质合金及其他化合物的
显微硬度值 H_m 374表27 某些纯金属的显微硬度值 H_m 375

表28 压痕显微硬度值换算表..... 376

上篇 一般金相研究方法

第1章 金相試样的截取

§1 金相试样截取准则

选择合适的有代表性的金相试样是准备进行金相研究的第一步，也是极关重要的一道手續；忽视选择取样的重要性，往往会影响檢驗結果的正确程度。

金相试样截取部位的选择，必需能表征被檢驗材料或零件的特点。例如，某机构零件在工作时损坏，要想用金相方法研究它的破裂原因，那么金相试样应在零件破裂的部位截取，这将有利于得到更多有益的資料来解释零件破裂的原因。显然，除了在破裂部位截取金相试样以外，还需要在离开破裂处較远的部位截取一件参考性的金相试样，以資研究比較。

被檢驗金属材料或零件因所經過的工艺过程或处理情况不同，金相试样截取部位的选定也应相适应地随着变更。鑄造合金因在冷凝結晶时存在着偏析現象，故鑄件各部分的金相組織并不是均匀一致的。研究鑄件的金相組織，必需从鑄件表层到鑄件中心同时进行观察，根据鑄件各部分金相組織的差異，从而了解合金的偏析程度。小型鑄件可直接截取垂直于模壁的横断面作为金相试样，大型鑄件則应在垂直于模壁的横断面上，从表层到中心部位截取数个金相试样。在檢驗軋制型材或鍛造零件时，应注意表层有无脱碳、折迭等表层缺陷；此外軋制型材及鍛件的非金属夹杂物研究对于金属材料品质的鑑定也很重要。因此，軋制型材应同时截取横向及纵向的金相试样。横向试样垂直于軋制方向截取，主要研究表层缺陷及非金属夹杂物的分布；对于很长的軋制型材，更应分别在型材两端截取试样，以資比較夹杂物的偏析情形。纵向试样平行于軋制方向截取，主要研究非金属夹杂物的形状，以决定夹杂物的类型；同时也可以根据纵向磨面（磨面是指金相试样上被磨光、抛光后进行金相研究的那个平面。）上晶粒被拉长的程度，估計出材料在范性形变过程中所經受的冷变形程度。經過一系列热处理工艺后机械零件内部的金相組織是比較均匀的，只需要截取任一截面的试样，但有时也应注意零件的表层情形，如氧化、脱碳及表层镀盖、渗碳等。

金相试样截取部位确定以后，更应进一步确定那一个试样面作为金相磨面。图1-1繪出了各种不同截面金相试样的位置与金相磨面的方向。因此，对于研究結果或檢驗报告上所列的金相图片，必須试样截取的部位与金相磨面的方向，在某些情况下还应该繪图表示在被檢驗机构零件上所截取金相试样的部位。

总结以上各点，将不同截面金相研究的对象开列如下：

横截面（图1-1丙）主要是研究：

（1）试样自外层边缘到中心部位金相組織的变化；

- (2) 表层缺陷的检验, 如脱碳、氧化、烧毁、折迭等;
- (3) 表面处理结果的研究, 如表面淬火、化学热处理、表面镀层等;
- (4) 非金属夹杂物在整个截面上的分布情况;

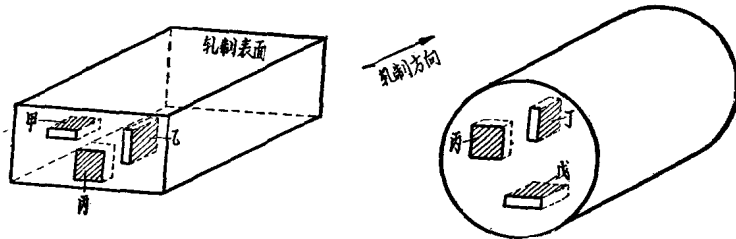


图 1-1 轧制型材金相试样的截取

- 甲——与轧制面平行的纵截面;
- 乙——与轧制面垂直的纵截面;
- 丙——横截面;
- 丁——放射纵截面;
- 戊——切线纵截面

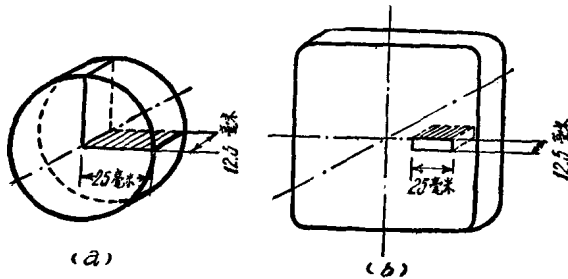


图 1-2 鉴定非金属夹杂物的取样方法

a—小件型材; b—大件型材

(5) 晶粒度测定。

纵截面(图1-1甲、乙、丁、戊)

主要是研究:

- (1) 非金属夹杂物的数量、大小和形状。
- (2) 测定晶粒拉长的程度, 从而了解材料冷变形的程度。
- (3) 鉴定钢材的带状组织及热处理消除带状组织的效果。

必须指出, 钢铁中非金属夹杂物

的测定, 与试样截取部位关系极大。磨面除了需要与纵轴平行以外, 更应尽可能地表征整块材料的实际情况。小件型材可截取整个纵断面的一半。如以50毫米圆钢为例, 图1-2a中画剖面线的面就是金相试样的磨面。大件型材常在距中心一半的地位截取试样, 如图1-2b所示。

§2 金相试样的截取方法

金相试样最适宜的尺寸是直径为12毫米高为10毫米的圆柱体, 或底面积为12毫米×12毫米、高10毫米的正方柱体, 如图1-3所示。

从被检验的金属材料或零件上截取上述标准尺寸大小的金相试样, 显然要化费很大的劳动。试样的截取必须采取最合适的方法, 尽力设法避免试样因截割加工不当而引起的金相组织的变化。有这样两种可能。(1) 范性形变使试样的金相组织发生变化。如奥氏体类钢晶粒内部滑移线的增加, 多晶锌晶粒内部形变孪晶的出现, 低碳钢有色金属中晶粒因受力而压缩、拉长或扭曲等等, 这些都是容易发生的弊病。至于某些低熔金属(锌、锡等)试样, 由于再结晶温度比室温还低, 试样若有范性变形产

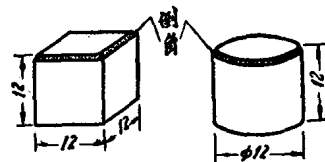


图 1-3 金相试样的标准尺寸

生，則將同時伴隨着再結晶過程，使試樣原來的組織、晶粒大小發生根本的改變（參考圖4—9）。（2）材料因受熱引起金相組織的變化。如淬火馬氏體組織，常因磨削熱的影響而回火成回火馬氏體組織。因此，截割試樣時應對上述二點加以注意。

由於被檢驗物的硬度有高低之別，故採用各種不同的截取方法。性軟的金屬材料，可以用手鋸或鋸床、車床、鉋床切削加工截割試樣。硬而脆的合金，像白口鑄鐵、高錫青銅等，不可能由一般切削加工來截割，最簡單而有效的方法是用重錘擊碎，再在碎片堆中挑出合適尺寸的碎片作為金相試樣，靠鑲嵌方法得到大小合適、外形整齊的金相鑲嵌試樣。極硬的合金材料，像淬火後的鋼試樣和硬質合金等，前者不易擊碎成合乎要求的試樣，后者又限於材料的昂貴，用錘擊法極不經濟，故不宜採用錘擊法。因硬度過高而無法由切削加工獲得的試樣，僅能用砂輪割片靠砂粒磨削作用截取。在某些特殊情況下，氧乙炔焰切割可以作為截取試樣的補充方法。例如鑄造狀態的耐磨高錳鋼Γ-13，系奧氏體組織，無法由切削加工取得金相試樣，除由砂輪片切割外，氧乙炔氣割也常應用。因奧氏體組織在加熱時除了部分碳化物溶解以外，組織並無多大變化。但切割後的試樣還應在砂輪上磨去一定厚度，以保證被檢驗磨面表征原來的情況，而不受氧乙炔切割的影響。

砂輪割片是一片極薄的砂輪，厚度約為1.5毫米，由碳化砂與樹脂或粘土膠合而成。砂輪割片安裝在金相切割

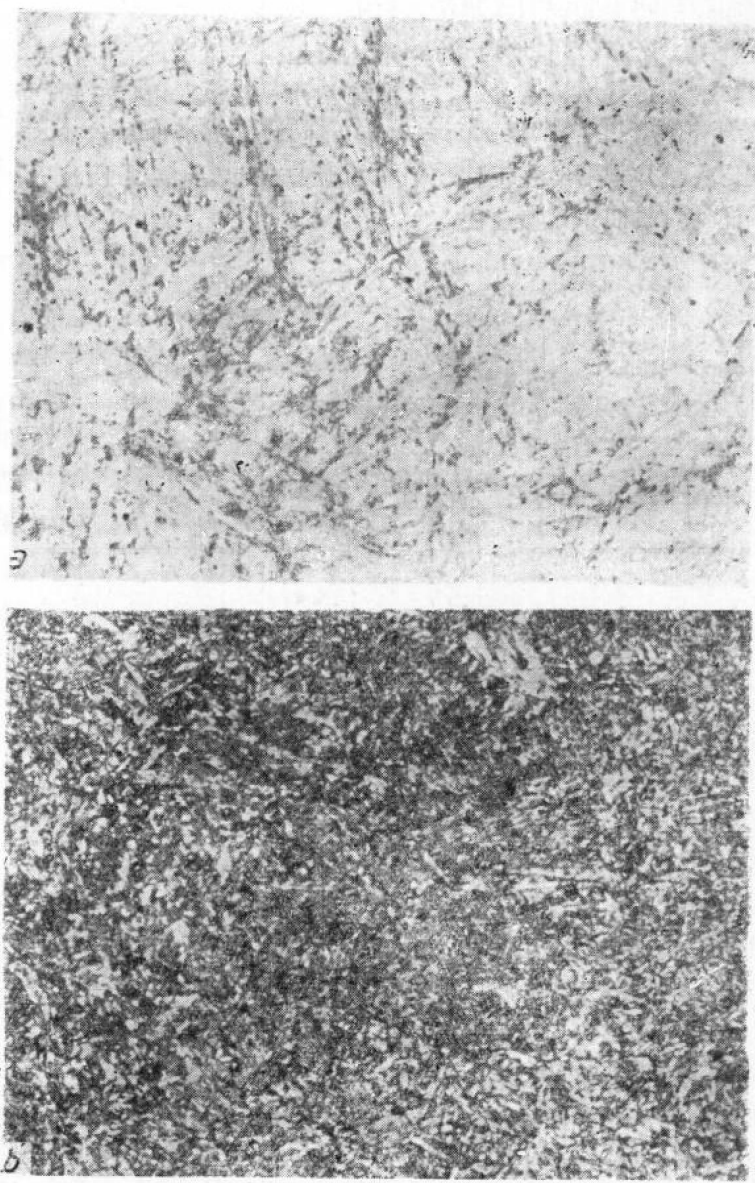


圖 1—4 淬硬鋼件在不同條件下切割後金相檢驗結果
(Vilella)

- a—浸入冷卻劑內切割，組織不變仍為淬火馬氏體；
- b—切割時未加冷卻劑，得回火馬氏體組織

机上，以极高的速度旋轉着。常用轉速为3000轉/分。高速旋轉的砂輪在与工件相接触时产生磨削作用，工件被磨成凹坑乃至割断。在切割时，試件因磨削而产生高热，甚至会使得部分金属达到熾热状态。显然，热的产生势必影响檢驗的結果，因为用砂輪割片切割的試样大多是淬硬的鋼件，淬火馬氏体組織将因磨削受热而起回火作用，所以在切割时应有足够的冷却剂以带走由磨削所产生的热量。图1—4所示是淬硬的鋼試样在不同的切割条件下得到不同的結果的比較。图1—4a的試样在切割时有充分的冷却剂，因而沒有受磨削热的影响，組織不变，仍为淬火馬氏体。图1—4b的試样在切割时沒有采用冷却剂，因而受热回火变成回火馬氏体組織。

除了冷却作用以外，冷却剂还能起潤滑作用，有利于延长砂輪割片的使用寿命。常用的冷却剂有水、乳化油、火油等几种。通常都用水冷却，因为水的冷却作用最高，但是潤滑作用却很差。冷却的方法有两种，或是将被切割試件全部浸入冷却剂中进行切割，或是将冷却剂噴注在工件切割部分。大型的金相試样切割机多采用浸入法，而小型金相試样切割机則采用噴注法。

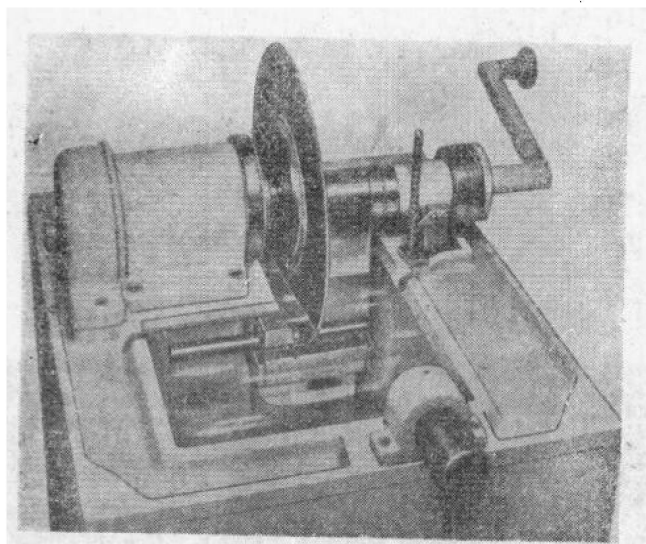


图 1—5 金相試样切割机

离。当臂在水平位置的时候(在图1—6中用虛綫表示)，装卸試样。这时，試样与砂輪割片之間有一定的間隙。随着夹臂摆向下方，砂輪割片逐渐切入試样，直至切断为止。試样夹臂与主軸中心的偏心率可以由另一机构調整，以适应各种不同尺寸的試样。用冷水作冷却剂时，切割完毕以后应将冷却水放尽，下次使用前再注新水。

除了机械切割方法以外，电加工方法也能达到同样的目的。电加工切割方法有电火花切割及阳极机械切割二种。电火花切割主要是靠金属切割盘与試样之間所产

图1—5是金相試样切割机的一种型式，装有直径25厘米的砂輪割片，試样的整个切割过程中都是在冷却水內进行的。这样可以保証試样在切割时不受热的影响。試样夹头及其給进机构是由不銹鋼制成的，以防工作时被腐蝕生銹。切割时試样的給进由偏心手柄来控制。試样夹头是一根长臂，一端夹住試样，另一端是轉动中心(图1—6)，試样夹可依此中心靠手柄的控制前后摆动。但是試样夹臂的轉动中心与砂輪割片軸的轉动中心有一个偏心距

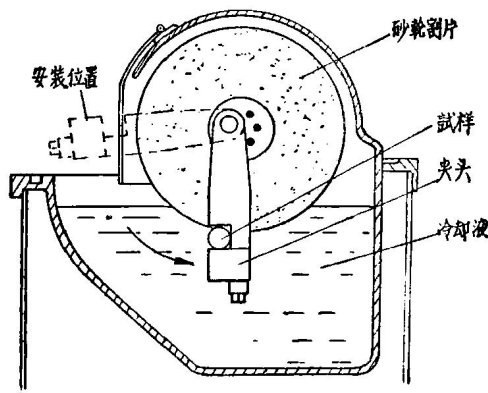


图 1—6 金相試样切割机工作原理

生的电弧起切割作用。显然，电火花切割会影响試样的表层組織，所以不宜采用。阳极机械切割法主要是靠試样的阳极溶解作用。金属切割盘的作用只是將試样表层的薄膜击破，从而沿切割盘的进給方向迅速地将金属溶解于电解液中，直至断裂。用阳极机械切割法切割試样，对于試样表层組織的影响較小，合乎金相試样切割的要求。然而阳极机械切割設備体积庞大，且需要一定成份的电解液（例如水玻璃溶液），給金相試驗工作带来不便，因而也很少采用。

§3 斜面截切的应用

表层金相組織的研究是金相檢驗中常遇到的工作。但是在很多情况下被研究表层的厚度极小，如表面鍍层的研究，表层拜尔培层的研究；以及磨削后表面质量的研究等等。很薄的表层在一般金相試样截面上只是极細的一条綫，纵使放得很大，也无法清楚地观察到这一层的組織。在这种情况下常采用斜面截切方法来扩大表层的可观察范围。

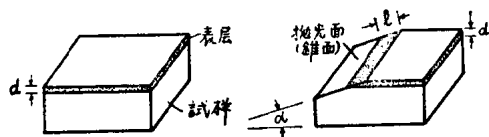


图 1—7 斜面截切

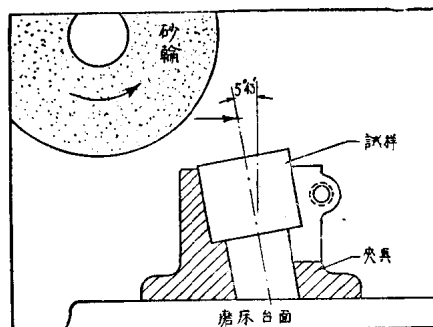


图 1—8 斜面截切的特殊磨夹具

图1—7是斜面截切的說明。設被檢驗层的厚度为 d ，先依盖层为磨面截成一定尺寸的試样，然后根据斜面截切方法在試样表面上磨一斜度，那么， d 层被磨削切割的斜面长度为 l ， l 这一斜面就是将来抛光后的观察平面。 l 与 d 的比值称为錐度比值，其值越大即表层被扩大的范围越大，在磨削时倾斜的角度 α 应越小。它們之間的关系是：

$$\text{錐度比值} = l/d = \frac{1}{\sin \alpha} \quad (I)$$

一般常采用的錐度比值是10。

图1—8是斜面截切磨削时的情形。为了便于調整所要求的錐度，可以做好一套特殊的磨夹具。上图所示是标准尺寸試样（鑲嵌試样）的特殊磨夹具，夹具体中心与磨床台面有一定的傾斜（錐度比值为10时， α 为 $5^\circ 43'$ ），夹具体靠平面磨床磁铁。台面固定。

如果要求能正确地求得錐度比值，那么就需要用細銅絲作为参考校正綫，并根据对校正綫的測量正确地計算出它的錐度比值。一般在10:1錐度比值时可取35号銅綫作为校正綫。先将校正綫附着在試样表面上，再在試样表面鍍一层銅或鉄（鍍銅方法參閱本书第二章），然后进行錐度磨削，得到半面磨光的傾斜磨面（图1—9）。磨削时应依校正綫作为中心綫。磨削后銅綫因斜切而呈橢圓形，測量橢圓的长短直径，可以正确計算出錐度比值。图1—10即为錐度磨削后試样的情形，在图中可以看到被切成橢圓形的校正銅綫。

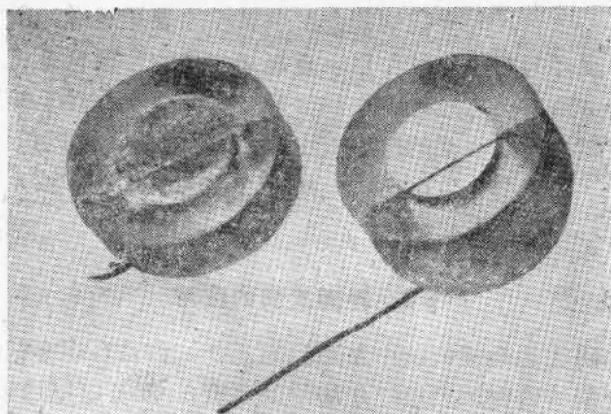


图 1—9 鍍嵌校正綫的金相試樣，在磨削前后的情形

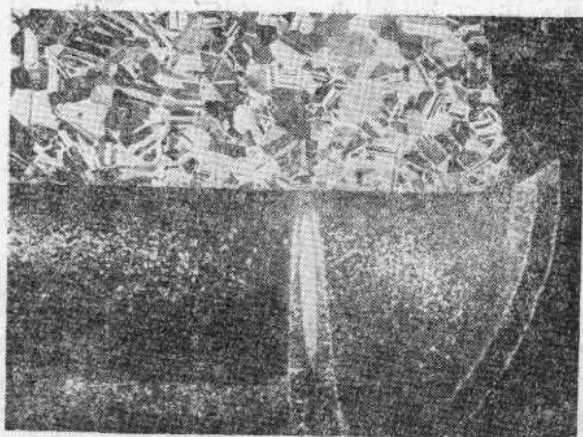


图 1—10 錐度比值的測量
(Samules)

参 考 资 料

- [1] H.Thompson: Microscopical Techniques in Metallurgy.1954 London.
- [2] G.I.Kehl: The Principle of Metallographic Laboratory Practice 1949.
- [3] E.L.Samules: An Improved Method for the Taper Sectioning of Metallographic Specimen. "Metallurgia" March 1955.

第2章 金相試样的鑲嵌

合适的試样，具有前述的形状及大小，可直接进行磨光抛光等操作。但是过于細小或形状特殊的金相試样，在磨光抛光时不易握持，使操作困难。例如綫材、細小的管材、薄板、錘击碎片以及切屑等等。这就需要用鑲嵌的方法把极細小的試样鑲嵌成較大的便于握持的磨片。鑲嵌的方法很多，視試样的性质选用。常用的鑲嵌法有下列几种。

§1 低熔合金鑲嵌法

利用融熔的低熔点合金熔液浇鑄鑲嵌成合适的金相試样。将欲鑲嵌的細小試样放置在一块平整的鉄板上，选择最大的面为底面，与鉄板接触。用合适尺寸的銅圈套在試样外面，将低熔合金熔液注入銅圈內，待冷却后即成为一块便于握持的金相磨片。銅圈的大小視試样尺寸而定，一般高約12—15毫米，直径为25毫米（图2—1）。

可以用来作为鑲嵌用的低熔合金，其种类很多，熔点大都低于100℃。其中以华氏合金为最常用，它的熔点最低，仅65.5℃，可以用开水使之熔化，使用极为方便。

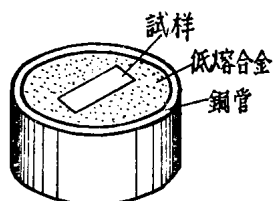


图 2—1 低熔合金鑲嵌的金相試样

表 2—1 鑲嵌用低熔合金的成份及其熔点

合 金 名 称	成 份 %				熔 点 °C
	Bi	Cd	Pb	Sn	
华 氏 合 金	50.0	12.5	25.0	12.5	65.5
露 氏 合 金	52.5	—	31.5	16.0	96
立 普 氏 合 金	50.0	10.0	27.0	13.0	70
无 鉍 华 氏 合 金	—	18.0	32.0	50.0	124

表 2—1 中所列低熔合金的熔点都很低，在鑲嵌时不致影响試样的金相組織。即使是淬硬的鋼，馬氏体組織在100℃以下也不会发生組織的变化。当然对于温度影响不敏感的金相試样，可以采用熔点較高的合金鑲嵌。例如淬火回火后的高速鋼可以用鉛錫合金甚至純鉛来鑲嵌，因为淬火回火后的高速鋼，当加热到 560℃ 以下，并不会使組織发生变化。

低熔合金鑲嵌的金相試样在磨光及浸蝕时較为困难。因为低熔合金比較軟，在磨光操作时磨屑常嵌入砂紙砂粒之間，減弱砂紙的磨削作用，使磨削困难。更因砂粒切削刃的变鈍导致試样表面拜尔培层的增厚。在浸蝕某些样品时，由于低熔合金与鑲嵌試样之間析出电位的差別，浸蝕时低熔合金常成为微电池的阳极（負电位高）速迅地被浸蝕溶化，而試样本身因低熔合金的浸蝕保护作用极难浸蝕，必需加长浸蝕 時間才能 显示組織。

除了低熔合金以外，其他易熔材料，像硫、硬蜡等，也可以如法浇注鑲嵌試样。但是它們的缺点很多，通常不宜采用。

§2 塑料鑲嵌法

利用热塑性或热凝性塑料，如胶木粉、醋酸纖維、聚氯乙烯等，来鑲嵌細小的金相