

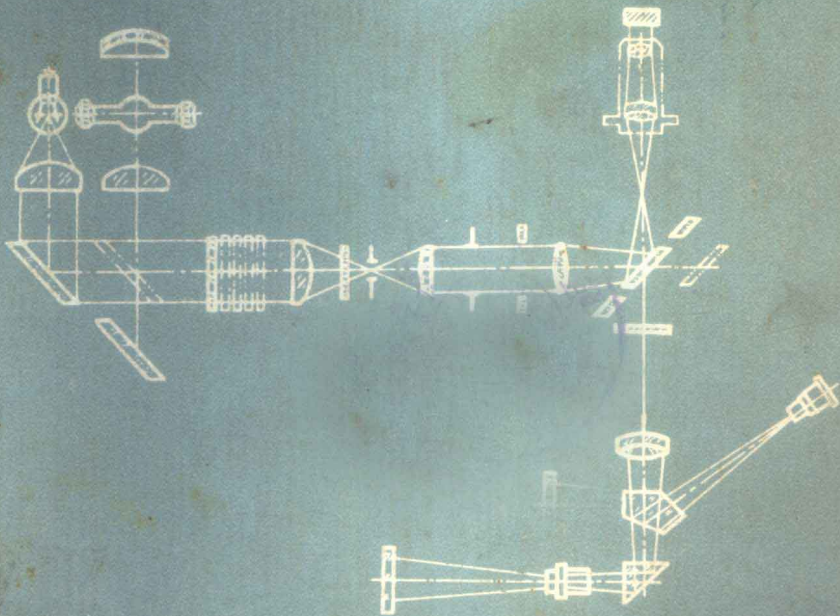
5174

23034

657961

金相分析

上海交通大学《金相分析》编写组 编



国防工业出版社

金 相 分 析

上海交通大学《金相分析》编写组 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统介绍金相分析的基础知识及工厂常用典型金属材料的显微组织分析。主要包括：金相实验方法概述，有关金属学及热处理的基础知识（金属的结构和结晶、二元及三元合金相图、塑性变形和再结晶、热处理中组织变化等），铸、锻、焊及化学热处理对合金显微组织的影响，碳钢、铸铁、高速钢、不锈钢、高温合金、有色金属（铝、铜、钛、轴承合金）的金相分析，以及断口金相和废品金相分析的基本内容。

本书可供工厂中心试验室从事金相工作的同志参考，或作金相短训班教材，也可供大专院校金相热处理专业或金属材料专业的师生参考。

金 相 分 析

上海交通大学《金相分析》编写组 编

*

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

*

787×1092 1/16 印张37 868千字

1982年4月第一版 1982年4月第一次印刷 印数：0,001-10,500册

统一书号：15034·2008 定价：3.75元

前 言

本书以显微组织分析为中心内容，编写中考虑到以下几点：①系统介绍金相分析的若干基础理论知识，如合金相图及其应用，钢在热处理时组织变化的规律等；②讨论各种工艺（铸造、冷、热变形，化学热处理及焊接等）对合金组织及性能的影响；③对显微组织比较复杂的常用金属材料，选择典型以专门章节进行综合分析；④介绍常见缺陷组织及断口的识别以及事故分析的一般途径；⑤对金相实验方法工作简略的概述。

本书各章编写人员如下：第一至九章、十二章、二十章——李朋兴；第一章第四节——陈贤芬；第十章——潘健生、郑经弦，陈行康等；第十一章——江伯鸿；第十三、十四章——杨安静；第十五章——姚德良；第十六、十七章——朱钰如；第十八、十九章——周善佑。全书各章曾分别请校内、外有关同志审阅，最后由李朋兴汇总。

在本书编写过程中，上海工具厂袁家栋同志、上海汽轮机厂陈德和同志、上海拖拉机附件厂施友方同志、沪东造船厂汤伟成同志曾分别审阅了高速钢、不锈钢、化学热处理及铸铁等章节，提出了许多宝贵的意见。5703厂、上海柴油机厂、无锡柴油机厂、江南造船厂、冶金部钢铁研究院十三室、陕西机械学院铸工教研组、上海新江机器厂、浦江轴承厂、上钢三厂、上海钢铁研究所、上海材料研究所、沈阳铸造研究所、华丰钢铁厂等单位曾提供许多技术资料和金相照片。本校金相室协助印制部分金相照片，陆逸影同志描绘了本书全部曲线。此外，还有许多厂、所、校曾给予热情鼓励和支持，谨在此一并表示衷心的感谢。

上海交通大学《金相分析》编写组

目 录

第一章 金相实验方法概述	1
第一节 宏观(低倍)分析方法	1
第二节 光学金相实验方法	3
第三节 电子金相实验方法简介	26
第四节 定量金相	35
第二章 金属晶体结构	46
第一节 纯金属的结构	46
第二节 合金相	49
第三节 晶体缺陷	51
第三章 二元合金相图及合金组织	56
第一节 匀晶相图及结晶组织	57
第二节 共晶相图及结晶组织	71
第三节 包晶相图及结晶组织	78
第四节 相图分析小结	80
第五节 铸锭组织和缺陷	82
第六节 影响合金显微组织的因素	87
第四章 铁碳相图及碳钢组织	93
第一节 铁碳合金相图(Fe-Fe ₃ C 相图)	93
第二节 合金元素对铁碳相图的影响	101
第三节 碳、硅、锰及杂质元素对钢的显微组织的影响	105
第四节 铸钢组织	111
第五章 钢中非金属夹杂物	117
第一节 非金属夹杂物对钢材性能的影响	117
第二节 非金属夹杂物的分类	123
第三节 非金属夹杂物的金相鉴定	125
第六章 金属的冷变形、再结晶和热加工组织	134
第一节 金属的变形过程	134
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	140
第三节 回复与再结晶	143
第四节 钢的热加工组织	149
第五节 冷变形及锻轧组织缺陷举例	154
第七章 断口金相	160
第一节 概述	160
第二节 断口的宏观分析	168
第三节 断口的电子显微分析	176
第四节 断口分析实例	183

第八章	钢的热处理组织	186
第一节	钢在加热时的组织变化	186
第二节	钢在冷却时的组织变化	190
第三节	珠光体、马氏体、贝氏体和魏氏组织	202
第四节	工业用钢的退火、正火及淬火组织	227
第五节	回火及其组织	240
第六节	热处理缺陷的金相分析举例	251
第九章	三元合金相图	256
第一节	概述	256
第二节	三元匀晶相图	258
第三节	具有三相平衡的三元合金相图	262
第四节	实际三元合金相图举例(一)——Fe-C-Cr三元相图	268
第五节	具有四相平衡的三元相图	271
第六节	三元系合金的非平衡冷却	280
第七节	实际三元合金相图举例(二)Al-Cu-Mg及Fe-C-P	281
第十章	钢的化学热处理组织	285
第一节	概述	285
第二节	渗碳	286
第三节	氮化	295
第四节	软氮化	305
第五节	碳氮共渗	317
第六节	渗硼	326
第十一章	焊接金相	333
第一节	焊接时加热和冷却过程的特点	333
第二节	热影响区的组织和性能	335
第三节	焊缝金属的组织	350
第四节	焊接接头的缺陷	364
第十二章	铸铁金相	384
第一节	灰口铸铁	384
第二节	可锻铸铁	394
第三节	球墨铸铁	396
第四节	特殊铸铁	404
第十三章	高速钢的金相分析	408
第一节	高速钢的铸态组织	408
第二节	高速钢的碳化物不均匀性及其原材料检验	411
第三节	高速钢的热处理组织	416
第四节	高速钢的缺陷组织	424
第五节	粉末高速钢金相组织的特点	429
第十四章	不锈钢的金相分析	432
第一节	概述	432
第二节	马氏体不锈钢	435

第三节	铁素体不锈钢	442
第四节	奥氏体不锈钢	444
第五节	铁素体-奥氏体复相不锈钢	450
第六节	沉淀硬化不锈钢	451
第七节	δ 铁素体与 σ 相	454
第十五章	高温合金的金相分析	461
第一节	评定高温合金的主要性能指标	461
第二节	高温合金中的主要组成相及其作用	463
第三节	铁基高温合金	471
第四节	镍基高温合金	477
第五节	钴基高温合金	479
第六节	高温合金的金相分析方法	482
第十六章	铝及铝合金	485
第一节	纯铝	485
第二节	铝的合金化及铝合金热处理	490
第三节	铸造铝合金	496
第四节	形变铝合金	507
第五节	铝合金的相鉴定	511
第六节	铝合金试样的制备及常见的组织缺陷	518
第十七章	铜及铜合金	526
第一节	纯铜	526
第二节	黄铜	528
第三节	青铜	532
第四节	常见铜及铜合金斑病	539
第五节	铜合金热处理	542
第六节	铜合金的金相分析	543
第十八章	钛及钛合金	548
第一节	纯钛	548
第二节	钛合金	551
第十九章	轴承合金	566
第一节	锡基轴承合金	567
第二节	铅基轴承合金	570
第三节	铜铅轴承合金	572
第四节	高锡铝基轴承合金	573
第二十章	废品金相分析综述	575
第一节	一般途径	575
第二节	废品成因	578
第三节	实例	582
附录	金相浸蚀试剂索引	586
参考文献		586

第一章 金相实验方法概述

人类使用金属已有几千年的历史，在研究、创制和应用金属材料的漫长过程中，同时发展了各种观测金属组织的实验技术。从肉眼的宏观分析到光学金相显微镜的出现，进而到电子显微镜的应用，标志着研究组织的技术发展，反映了人们认识的不断深化。按传统的习惯，“组织”是指构成材料各组成物的直观形貌，而“结构”是指材料中原子排列的特征，随着近代观测技术的发展，组织与结构之间的界限正被突破，但本书所论的范畴仍限于通常的金相组织。

为了正确地分析组织，必须掌握金相分析技术，它包括宏观组织分析、光学显微组织分析（光学金相方法）以及电子显微组织分析（电子金相方法）三类。

金属材料的宏观组织主要是指肉眼或低倍（ ≤ 30 倍）下所见的组织。宏观分析的优点是方法简便易行，观察区域大，可以综观全貌。它的不足之处是人眼分辨率有限，缺乏洞察细微的能力，这就促使人们找寻新的工具和手段，突破视觉的生理界限，逐步发展微观组织分析方法。

金属材料的显微组织是指在放大倍数较高的金相显微镜下观察到的组织。光学显微镜用于金相分析已有一百多年的历史，比较成熟，目前仍是生产检验的主要工具。它的最大分辨率 ≤ 0.2 微米，使用放大倍数一般小于2000倍。电子显微镜有更高的分辨率和放大倍数，因此在金相分析中得到愈来愈广泛的应用。

第一节 宏观（低倍）分析方法

宏观分析是常用的检验方法。主要用于检查原材料或零件的质量，揭示各种宏观缺陷；检定工艺过程和进行废品分析。

宏观分析一般可包括下述内容：

1. 铸态的结晶组织。如各层晶带（柱晶带、等轴晶带）、晶粒形状（如树枝晶）及晶粒大小等。
2. 某些元素的宏观偏析，如钢中硫、磷的偏析等。
3. 压力加工所形成的流线、纤维组织及粗晶区（如铝合金中的粗晶环）等。热处理零件的淬硬层、渗碳层及脱碳层等。
4. 金属铸件凝固时形成的缩孔、疏松、气泡；各种焊接缺陷，白点，夹杂物以及各种裂纹等等。
5. 断口的其他宏观缺陷及特征。

宏观检验的方法很多，如热蚀试验、冷蚀试验、硫印试验、断口检验和塔形车削发纹检验等。不少已有标准规定，可供查考。现就几种常用方法简略加以介绍。

一、热蚀试验（热酸试验法）

钢的热酸试验法见国家标准 GB226-63。其中对试样的制备及试验方法已有明确规定。一般应根据检验目的，确定有代表性的部位及检查面，并加工至不低于 $\nabla 6$ ，试样在截取及加工过程中，应注意防止造成假象。

钢材热蚀试验最常用的试剂是 50% (体积) 的盐酸水溶液，加热至 $70 \pm 5^\circ\text{C}$ ，进行热蚀的时间因钢材成分、状态、表面光洁度、检验目的及溶液的新旧程度等不同而异，一般情况偏短一些，而不要过度浸蚀。

试验结果的评定，对结构钢的低倍组织可参考冶标 YB49-64 进行。

图 1-1 是热蚀显示的钢材轴心晶间裂纹。

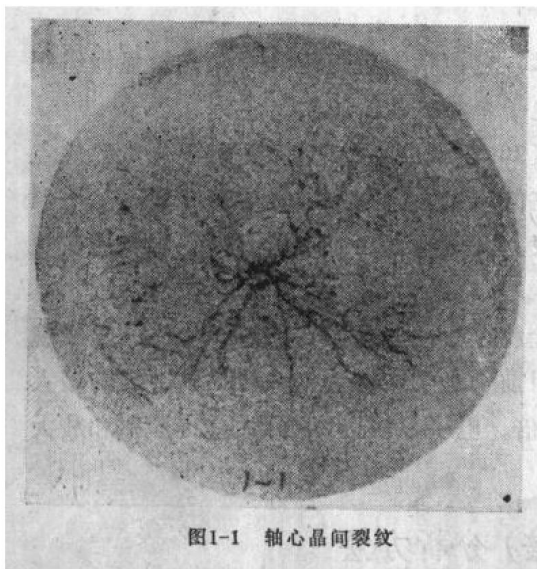


图1-1 轴心晶间裂纹

实践证明，热酸法酸的损耗多，操作条件差，劳动强度大，试样浸蚀程度不一致，使低倍试验工作存在一定的困难。

有的工厂采用电蚀试验法，以低压大电流电解腐蚀钢的低倍试样。取得良好效果。电蚀法采用 15~20% 盐酸水溶液，在室温进行，试样放在两块电极板中间，电极板用普通碳钢板，选用电流密度约 0.01安/毫米^2 ，时间约 5~15 分钟。

二、冷蚀试验

冷蚀试验是在室温进行的酸蚀试验，作用较热蚀法缓和，多用于截面较大，不便于作热蚀的钢材切片及已加工成形的零件的检验。

冷蚀试剂的种类很多，可按具体要求参考有关手册选用。下表仅列举两种用于一般钢材的冷蚀试剂。

表1-1 两种冷蚀试剂的配方及工作条件

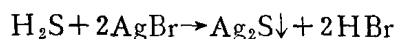
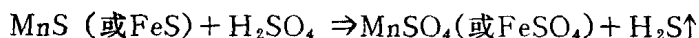
序号	组 成	工 作 条 件	应 用 范 围
1	(1) 过硫酸铵 15克 水 85毫升 (2) 硝酸(1.49) 10毫升 水 90毫升	室温下可单独使用，或先用 (1) 试剂擦拭 10 分钟，再用 (2) 试剂擦拭 10 分钟	显示碳钢、低合金钢的低倍组织，夹杂物、发纹、裂纹、白点等缺陷，以及上述钢材的焊缝低倍组织及缺陷
2	盐酸 500毫升 硫酸 35毫升 硫酸铜 150克	在浸蚀过程中，用毛刷不断擦拭试样表面，去除表面沉淀物	碳钢、合金钢

三、硫印试验

硫在钢中以硫化物形式存在，用硫印方法可以揭示钢材整个截面上硫的分布情况和浓度高低。

硫印操作方法是：将印相纸先在 2~5 % 的硫酸水溶液中浸润，然后以此印相纸的药面紧贴在磨光 (▽6) 去油的试样表面上，经 5 分钟左右后揭下，用清水冲洗，再定影、冲洗和烘干，然后按相纸上的棕色斑点，评定钢中硫化物的分布及含硫量高低。

形成棕色硫化银斑点的反应过程如下：



因此，照相纸上出现棕色斑点处便是钢中存在硫化物的地方。

硫印法尚无统一标准，一般根据斑点数量、大小、色泽深浅及分布均匀性等评定。主要用于碳钢及低、中合金钢件。

第二节 光学金相实验方法

要想观察到真实的、清晰的显微组织，首先要制备好金相样品，并正确掌握光学金相显微镜的使用。

一、金相试样的制备

金相试样的制备包括取样→磨制→抛光→浸蚀等几个步骤。忽视任何一道工序，都会影响组织分析和检验结果的正确程度，甚至造成误判。

制备好的试样应具备以下几点：

组织有代表性；

无假象，组织真实。夹杂物、石墨等不脱落；

无磨痕、麻点或水迹等。

1. 取样

应考虑的问题是：取样部位、切取方法、检验面的选择以及样品是否要装夹或镶嵌。

取样必须根据检验目的，选择有代表性的部位。一般对锻、轧钢材和铸件的常规检验取样部位，有关技术标准中都有明确规定。对事故分析，应在零件的破损部位取样，同时也在完好部位取样，以便对比。总之，应按实际需要与具体情况来决定。

试样的截取可采用不同方法，如手锯、砂轮切割、机床截取或气割等。但不论用何种方法，都要避免检验部位过热或变形而使试样组织发生变化。

检验面的选择很重要，对锻、轧及经过冷变形的工件一般进行由表面到中心有代表性的纵向检验，以观察组织和夹杂物等的变形情况。而横向截面的检验可用于检测脱碳层、化学热处理的渗层、淬火层、表面缺陷、碳化物网络、晶粒度测定等等。

金相试样的大小以便于握持、易于磨制为度、不宜过大过小。对形状特殊或尺寸细小不易握持的试样，或为防止发生倒角，可以进行镶嵌或机械装夹。

镶嵌材料目前使用的有：热凝性塑料(如胶木粉)、热塑性塑料(如聚氯乙烯)及冷凝性塑料(如环氧树脂+固化剂)等。它们各有特点。如用胶木粉镶嵌，质地较硬、试样不易倒角，但要加热到 200°C 才能成型，因而可能引起试样某些组织的变化，而环氧树脂可在室温凝固，但易因受热而软化。

2. 磨平与抛光

基本要求是在磨平表面的同时，尽力防止造成假象，为揭示真实组织准备好条件。

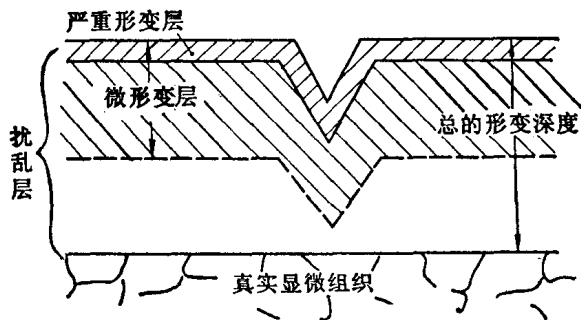


图1-2 试样磨制过程中的磨痕深度与扰乱层示意图

获得光滑的镜面，并去除形变扰乱层。常用的方法有机械抛光、电解抛光、化学抛光或它们的综合应用。

机械抛光目前使用最广，抛光织物和磨料种类很多，可按不同要求选用。金刚砂研磨膏（3微米至0.5微米）是良好抛光磨料之一[●]，切削锋利，速度快，扰乱层浅，能保留

夹杂物，但价格较高。细粒度的氧化镁特别适于对铝、铜、纯铁等软性材料进行最后精抛。

抛光时应注意的是：用力轻匀，干湿适当，不时移动，保持清洁。

电解抛光是靠电化学的溶解作用使试样平整。它的装置如图1-3所示。试样接阳极，不锈钢等作阴极，接通电源后，阳极发生溶解，金属离子进入溶液，在一定电解条件下，阳极表面由粗糙变得平坦光滑。

电解抛光质量的好坏，除取决于抛光材料、电

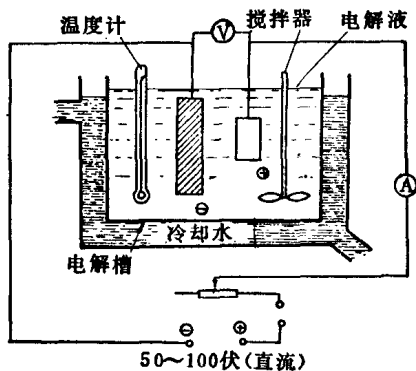


图1-3 电解抛光装置示意图

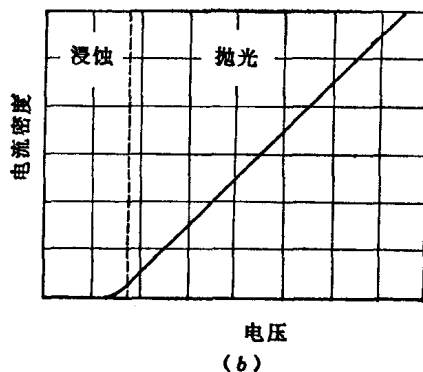
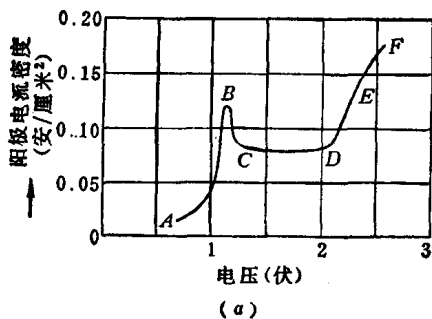


图1-4 电解抛光特性曲线

a—第一类电压——电流关系曲线，b—第二类电压——电流关系曲线。

● 金刚石研磨膏可少量涂在呢线上，再加上一些甘油，使用时试样沾水抛光。

解液外，主要与电解时的电流密度——电压规范有关。实验发现，不同金属有二类特性曲线，如图 1-4 所示。

第一类曲线： AB 段电流随电压的增加而上升，因电压过低，不起抛光作用，仅有浸蚀现象。 BC 段是不稳定段， CO 段中，抛光电压增加时，电流不变，保持一稳定值，这段就是电解抛光的工作范围，最佳条件近于 D 点处。过 D 点后，电压升高，电流剧增，抛光作用随之破坏，将产生深点浸蚀。

第二类曲线无明显的四段，可用试验找出正常的抛光范围。

常用电解抛光液配方及电解抛光规范见表 1-2。

表 1-2 电解抛光液及规范

序号	电解液配方	规范			适用范围	注意事项
		空载电压 (伏)	电流密度 (安/厘米 ²)	时间 (秒)		
1	高氯酸 20毫升 酒精 80毫升	20~50	0.5~3	5~15	钢铁、铝及铝合金、 锌合金及铅等	1. 温度 < 40°C 2. 新配试剂效果好
2	磷酸 90毫升 酒精 10毫升	10~20	0.3~1	20~60	铜及铜合金	用低电流可进行电 解浸蚀
3	高氯酸 10毫升 冰醋酸 100毫升	60		15~20	钢、镍基高温合金等	
4	硫酸(1.84)10毫升 甲醇 90毫升	10			耐热合金，如 Inconel 718 等	1. 先倒甲醇，然 后将硫酸徐徐加入， 以防爆炸 2. 电浸时电压降 至 3 伏

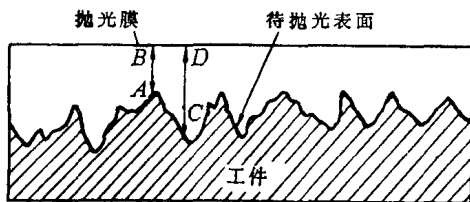


图 1-5 电解抛光示意图

电解抛光的原理可以认为是试样表面凸起部分选择溶解的结果。首先，由于金属和电解液的相互作用，在试样粗糙不平的表面上形成一层电阻较大的粘性薄膜，如图 1-5 所示。在试样表面凸起处液膜较薄（图中 AB ），凹陷处液膜较厚，显然在液膜较薄之处电流密度较大，使得试样凸起部分（如图中 A 处）的溶解比凹陷处（图中 C 处）为快，如此逐次进行，便形成平整的抛光表面。

电解抛光的优点是：①无扰乱层，特别适于铝、铜和奥氏体钢等。②抛光速度快，规范一经确定，效果稳定。③表面光整，无磨痕。④适当降低电压（如 $1/10$ ）可以随即进行浸蚀。它的缺点是：①对不同材料要摸索可行的具体规范；②对多相合金或有显微偏析时，容易发生某些相的选择浸蚀或金属基体与夹杂物界面处的剧烈浸蚀，达不到抛光效果。③溶液成分多样复杂，并应注意安全操作。

化学抛光是将试样浸入溶液中，通过溶液对表面的不均匀溶解而得到光亮表面，方法简便易行，适用面广，缺点是掌握最佳条件困难，夹杂物容易腐蚀掉。

机械抛光的特点是表面平滑，但易有扰乱层和划痕，电解抛光与化学抛光可以消除表面机械损伤，但不够平整；为了取长补短，发展了若干综合抛光方法，为腐蚀抛光、电

解——振动抛光、电解——机械抛光等。

(3) 浸蚀

抛光后的试样表面是平整的镜面，在显微镜下只能看到孔洞、裂纹、石墨、非金属夹杂物等。要观察金属的组织，必须采用恰当的浸蚀方法，使显微组织能真实地、充分地、细致地显示出来。

常用的浸蚀方法有：化学浸蚀法和电解浸蚀法。此外还发展了若干显示组织的特殊方法。

化学浸蚀法 将抛光好的试样磨面，在化学试剂中浸润或措擦一定时间，便可显示出组织。

试样浸蚀后所以能显示出各种组织，是由于金属材料各处的化学成分和组织不同，它们的电极电位[●]不同，腐蚀性能也就不同，因此浸蚀时各处浸蚀速度不一样。例如浸蚀一块多晶体的纯铁试样，由于晶界上原子排列较乱，缺陷及杂质较多，易被浸蚀而呈凹陷，在金相显微镜下观察时，光线照在晶界处被散射，不能进入物镜，因此显示出一条条黑色的晶界和一颗颗白亮色的晶粒，这样金属的组织便显示出来，如图 1-6 所示。

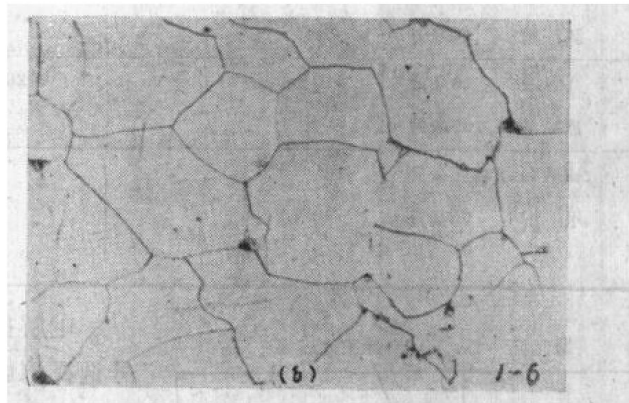
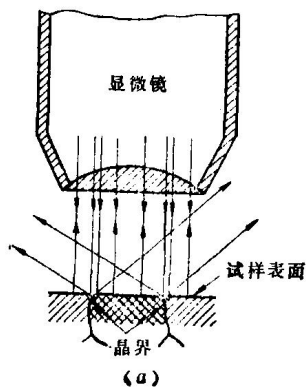


图1-6

a—纯铁晶界显示示意图； b—纯铁显微组织 500×。

常用的化学浸蚀剂很多。应按金属材料的不同和浸蚀的目的，选择恰当的浸蚀剂。在浸蚀过程中应注意的问题是：

① 浸蚀适度。浸蚀的时间以刚好能揭示组织的细节为度。不宜用过度浸蚀来增加组织的衬度。

② 高倍观察时的浸蚀程度比低倍观察时应略浅一些。

③ 浸蚀好的试样应尽量立即观察、拍照，放置过久容易氧化或沾污。

④ 浸蚀不足时，一般最好重抛一下再浸蚀。

最常用的浸蚀剂列于表 1-3。

浸蚀剂不同，显示组织的效果不一。

图 1-7 是 T12 钢退火组织用 4% 硝酸酒精和碱性苦味酸钠煮沸浸蚀结果的对比。可以看到渗碳体网用前者浸蚀呈白亮色，用后者浸蚀被染成棕黑色。

● 电极电位的概念见第十四章。

表1-3 常用浸蚀剂

序号	试剂名称	成分	适用范围	注意事项
1	硝酸酒精溶液	硝酸 HNO_3 1~5毫升 酒精 100毫升	碳钢及低合金钢的组织 显示	硝酸含量按材料选择, 浸蚀 数秒钟
2	苦味酸酒精溶液	苦味酸 2~10克 酒精 100毫升	对钢铁材料的细密组织 显示较清晰	浸蚀时间自数秒钟至数分钟
3	苦味酸盐酸酒精溶液	苦味酸 1~5克 盐酸 HCl 5毫升 酒精 100毫升	显示淬火及淬火回火后 钢的晶粒和组织	浸蚀时间较上例为快些约数 秒钟至一分钟
4	苛性钠苦味酸水溶液	苛性钠 25克 苦味酸 2克 水 H_2O 100毫升	钢中的渗碳体染成暗黑 色	加热煮沸浸蚀5~30分钟
5	氯化铁盐酸水溶液	氯化铁 FeCl_3 5克 盐酸 50毫升 水 100毫升	显示不锈钢, 奥氏体高 镍钢、铜及铜合金组织 显示奥氏体不锈钢的软 化组织	浸蚀至显现组织
6	王水甘油溶液	硝酸 10毫升 盐酸 20~30毫升 甘油 30毫升	显示奥氏体镍铬合金等 组织	先将盐酸与甘油充分混合, 然后加入硝酸, 试样浸蚀前 先行用热水预热
7	高锰酸钾苛性钠	高锰酸钾 4克 苛性钠 4克	显示高合金钢中碳化 物、 σ 相等	煮沸使用浸蚀1~10分钟
8	氨水双氧水溶液	氨水(饱和) 50毫升 $\text{H}_2\text{O}_2(3\%)$ 水溶液 50毫升	显示铜及铜合金组织	新鲜配用、用棉花蘸擦
9	氯化铜氨水溶液	氯化铜 8克 氨水(饱和) 100毫升	同上	浸蚀30~60秒
10	硝酸铁水溶液	硝酸铁 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 10克 水 100毫升	显示铜合金组织	用棉花指拭
11	混合酸	氢氟酸(浓) 1毫升 盐酸 1.5毫升 硝酸2.5毫升 水95毫升	显示硬铝组织	浸蚀10~20秒或用棉花蘸擦
12	氢氟酸水溶液	氢化酸 HF (浓) 0.5毫升 水 99.5毫升	显示一般铝合金组织	用棉花指拭
13	苛性钠水溶液	苛性钠 1克 水 90毫升	显示铝及铝合金组织	浸蚀数秒钟

图 1-8 是用两种浸蚀剂显示奥氏体合金铸铁的组织, 两者均可显示奥氏体枝晶的成分不均匀, 但衬度正好相反。

图 1-9 是 T12 钢淬火组织用 4% 硝酸酒精与苦味酸酒精浸蚀的对比, 可以看到, 苦味酸溶液对显示钢中碳化物更敏感、更细致。

图 1-10 是两种试剂浸蚀黄铜组织的对比, 可见 10% 硝酸铁显示铜合金组织更适宜。当组织中同时存在多种合金相, 用普通浸蚀法不易区分时, 可以采用迭加浸蚀法, 依次显示不同的合金相, 但操作较繁。

此外, 有人介绍在 2~4% 硝酸酒精中加入几滴净化剂 EDTA (乙二胺四乙酸钠), 浸蚀后试样表面较洁净; 特别是有微裂纹的试样, 裂纹两侧常有水迹污染, 加入净化剂后可

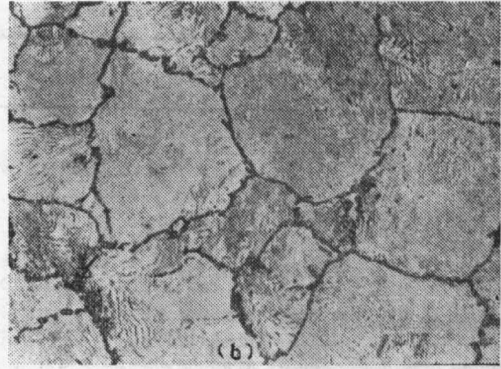
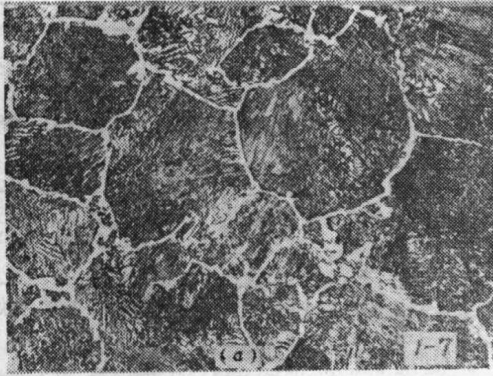


图1-7 T12退火组织 500×

a—4%硝酸酒精浸蚀； b—碱性苦味酸钠煮沸10分钟。

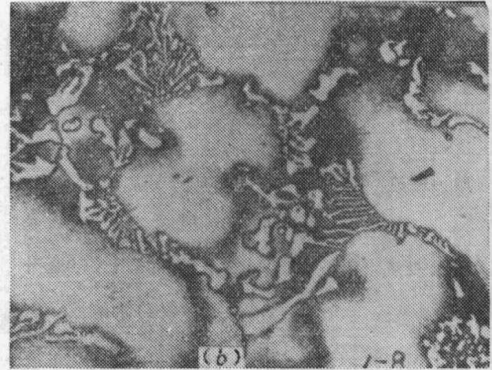
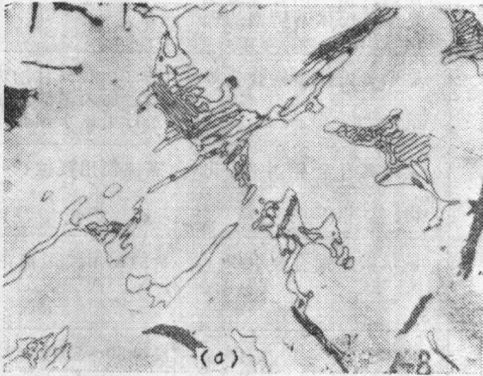


图1-8 奥氏体合金铸铁组织 500×

(2.5C-2Si-16Nj-7Cu-2.5Cr, 砂模铸造, $\phi = 22$ 毫米)

a—苦味酸酒精浸蚀； b—FeCl₃酒精浸蚀。

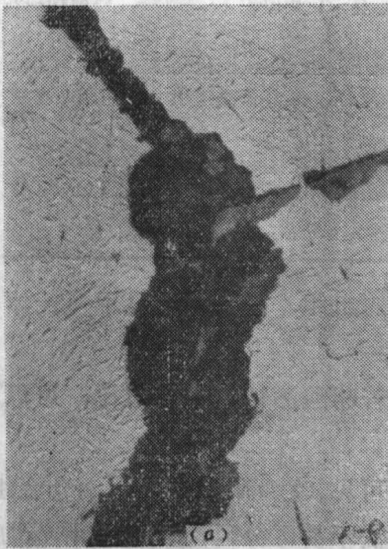


图1-9 T12钢淬火组织 400×

(1260°C加热, 淬沸水。组织为屈氏体、贝氏体、马氏体及残留奥氏体)

a—4%硝酸酒精浸蚀； b—4%苦味酸酒精浸蚀。

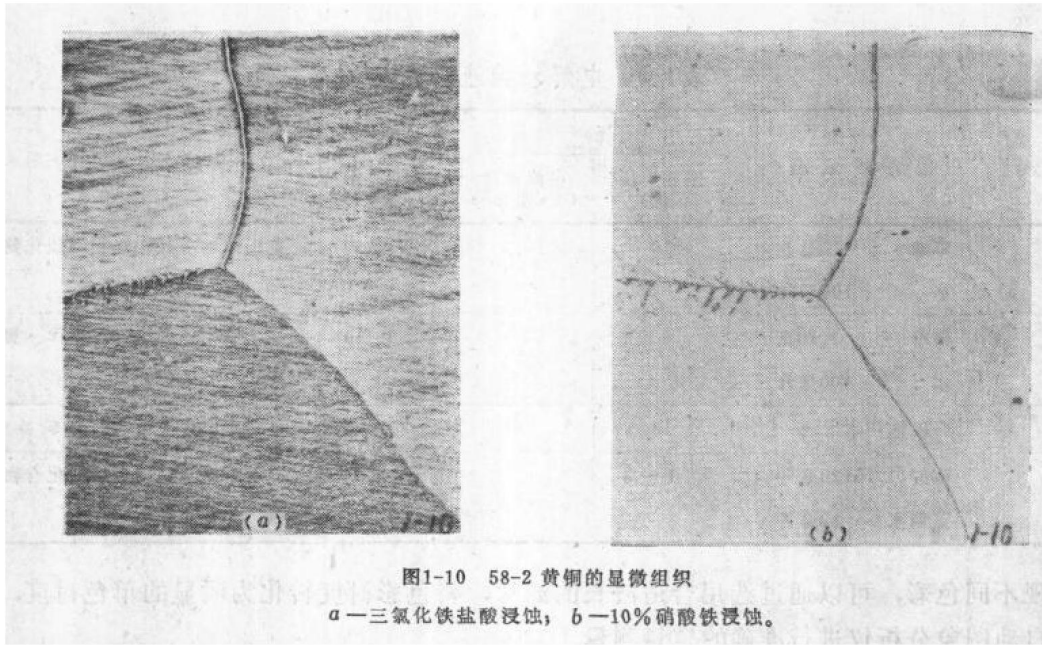


图1-10 58-2 黄铜的显微组织
a—三氯化铁盐酸浸蚀；b—10%硝酸铁浸蚀。

以去除这种水迹（见图 1-11）。

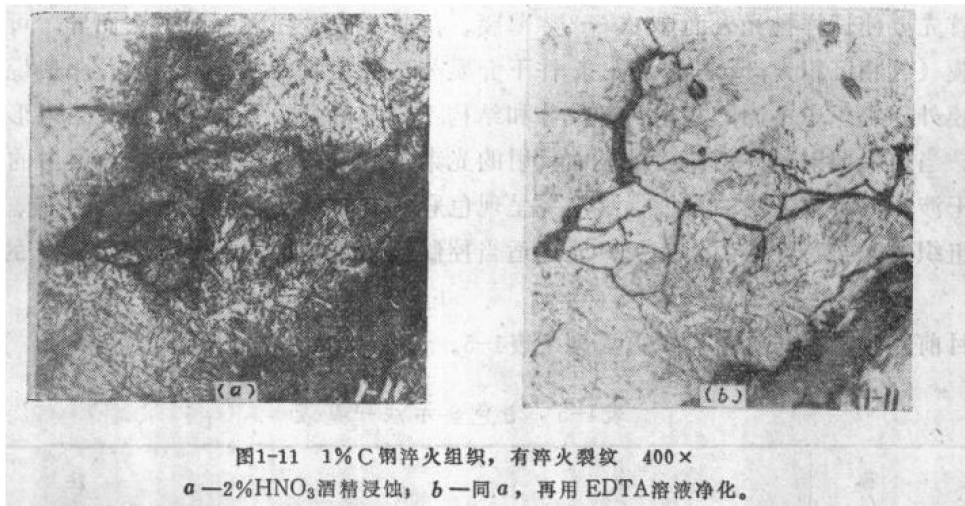


图1-11 1% C 钢淬火组织，有淬火裂纹 400×
a—2% HNO₃酒精浸蚀；b—同a，再用 EDTA 溶液净化。

电解浸蚀法 电解浸蚀的装置和操作与电解抛光相同，只是电解浸蚀时，采用电压——电流关系曲线上的 AB 段（图 1-4），即使用的电压较低。电解浸蚀与电解抛光可以分别进行，亦可在电解抛光后随即降压进行浸蚀。

几种常见的电解浸蚀液及规范列于表1-4。

着色显示（浸蚀）法 近年来，显微组织的着色显示法得到了一定的发展，它可以使不同组织呈现不同的彩色衬度。这些方法的发展是金相分析的需要。因为一方面合金组织往往是多相的，如出现 MC 、 M_6C 、 $M_{23}C_6$ 等各种碳化物，或奥氏体、 δ 铁素体与 σ 相共存，或马氏体与贝氏体混合组织等等，采用普通浸蚀方法往往难以确切区分它们，采用逐次浸蚀法又比较繁复，需要找寻一种有效的方法能同时显示这些相并加以鉴别；另一方面，定量金相的发展，特别是自动图象分析仪的应用，要求观测的组织与周围基体间有良好的衬度，采用普通浸蚀方法以区分组织，有时衬度不够，以致自动定量时误差较大，如果不同组织

表1-4 电解浸蚀液及规范

序号	电解液成分	规范			适用范围
		空载电压 (伏)	电流密度 (安/厘米 ²)	时间 (秒)	
1	草酸 10毫升 水 100毫升	10	0.3	5~15	奥氏体钢等区别 σ 相及碳化物等
2	铬酐 10克 水 100毫升	6		30~90	显示钢中铁素体、渗碳体、奥氏体等
3	明矾饱和水溶液	18		30~60	显示奥氏体不锈钢晶界等
4	磷酸(1.75)20毫升 蒸馏水 80毫升	1~3			显示耐热合金中金属间化合物等

能呈现不同色彩，可以通过选用合适波长的滤片，将色彩衬度转化为明显的单色衬度，便于用自动图象分析仪进行准确的定量测量。

着色显示法的基本原理是依靠薄膜干涉而增加各相之间的衬度，并使之具有不同的色彩。首先要使试样抛光表面形成一层薄膜。薄膜形成过程因不同方法而异，可以采用真空镀膜（气相沉积），或是在不同条件下介质与试样表面相互作用而成。一般说来，除真空镀膜外，组织中不同的相，由于成分和结构不同，薄膜的生长率不同，结果形成不同的层厚。当白光照射时，由薄膜外表面反射的光束与薄膜和试样表面交界处反射的光束之间相互干涉，使各相之间的衬度提高，并呈现色彩。衬度及干涉色与薄膜的性质、厚度及金属组织的光学特性等因素有关。通过适当控制膜厚及其特性，可以获得较佳的衬度效果。

目前几种常用的着色显示方法列于表1-5。

表1-5 着色显示法一览表

名称	方法
热染法	置金相试样于空气中低温（ $<500^{\circ}\text{C}$ ）加热，使磨面形成一层氧化薄膜。不同的相，氧化膜生长速度不同，膜厚不同。一般情况下可获得足够的衬度，但氧化着色时要升温，有的组织要发生变化
真空镀膜法（气相沉积法）	采用锌盐（如ZnSe、ZnTe、ZnS）等在真空（ $\sim 10^{-5}$ 托）下蒸发沉积于样品抛光表面上，形成均匀薄膜，扩大各相反光能力的差别，增加衬度。可用于显示钢铁、铝合金等组织中的各相。示例如图1-12。
化学着色法（化学浸蚀法）	将试样浸入特殊化学着色剂，例如含偏亚硫酸盐（ $\text{X}_2\text{S}_2\text{O}_2$ ）等的室温溶液中约1~15分钟，除有轻微腐蚀作用外，主要通过化学置换反应或沉积，在试样表面形成一层硫化物或氧化物薄膜，不同的相，有不同膜厚，呈现不同色彩
恒电位浸蚀法	在电解浸蚀过程中维持电位恒定，使作为阳极的试样表面形成氧化薄膜，不同的相，膜厚不同，提高衬度，见图1-13a。
气态离子覆层（又称“气体离子蒸镀”或“气体浸蚀”）	在专用的气体——离子反应室中进行。试样为阳极，阴极为Fe（或pb），阳—阴极间距 ≤ 10 毫米，先抽真空到 $\sim 10^{-4}$ 托，再充以反应气体（如氧）等。由于气态离子与试样表面的相互作用或沉积，形成一层氧化物薄膜，增加了各相之间的衬度，如图1-13b。