

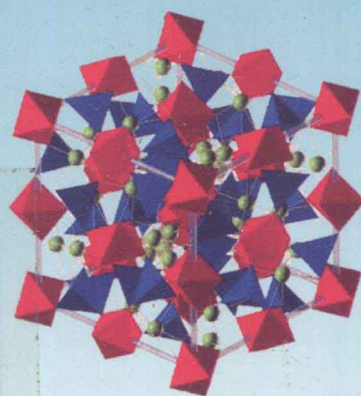
WUTP

普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

Jinxiangfenxi Jishushiyan Jiaocheng

金相分析技术实验教程

吴兴文 主 编



武汉理工大学出版社

Wuhan University of Technology Press

普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

金相分析技术实验教程

主 编 吴兴文

副主编 魏 鹏 程晓敏

武汉理工大学出版社

【内 容 提 要】

《金相分析技术实验教程》是高等学校材料科学与工程专业的实验教材,是根据材料科学与工程专业的教学大纲而编著的。本书内容主要涵盖材料科学与工程专业的专业基础课程实验及主要专业课程的部分基础实验。书中不仅介绍了材料科学与工程专业的常规基础型实验,还编写了培养学生综合能力与创新能力的综合设计型实验。全书共六章,内容包括绪论、金相显微分析基础实验、相图及结晶学基础实验、材料性能测试基础实验、综合设计型实验及实验仪器设备等。本书可作为高等学校材料科学与工程专业的本科生实验教学用书,也可供教师、研究生及相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金相分析技术实验教程/吴兴文主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2010.8
ISBN 978-7-5629-3195-9

I. ① 金…

II. ① 吴…

III. ① 金相组织-金属分析-实验-教材

IV. ① TG115.21-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 196573 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市珞狮路 122 号 邮政编码:430070)

<http://www.techbook.com.cn>(理工图书网)

印 刷:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11.75

字 数:301 千字

版 次:2010 年 8 月第 1 版

印 次:2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2000 册

定 价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

普通高等学校材料科学与工程类专业 新编系列教材编审委员会

顾问：郭景坤 袁润章 范令惠 杨南如

胡道和 王民权 岳文海 曹文聪

主任委员：张联盟

副主任委员：徐德龙 郑治祥 雷绍锋

委员：(以姓氏笔画为序)

万发荣 马保国 王国梅 王培铭 文梓芸

叶卫平 叶枝荣 叶 菁 田道全 曲祖元

刘亚云 刘 军 孙成林 吴建青 陈 文

宋晓岚 林宗寿 杨长辉 姜洪舟 陶珍东

钱觉时 钱春香 高建明 徐秋林 黄佳木

黄学辉 蒋 阳 程晓敏 程 新 谢峻林

曾令可 葛 勇 潘 伟 薛理辉

秘书长：田道全

总责任编辑：徐秋林

出版说明

材料是社会文明和科技进步的物质基础和先导,材料科学与能源科学、信息科学一并被列为现代科学技术的三大支柱,其发展水平已成为一个国家综合国力的主要标志之一。教育部颁布重新修订的《普通高等学校本科专业目录》后,为适应 21 世纪人才培养需要,及时组织并实施了面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划、世界银行贷款 21 世纪初高等理工科教育教学改革项目,部分高等学校承担了其中材料科学与工程专业教学改革项目的研究与实践。已经拓宽了专业面的材料科学与工程专业,相应的业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的材料科学与工程专业系列教材已成为众多院校的翘首之盼。武汉理工大学出版社在教育部高等学校材料科学与工程专业教学指导委员会的指导和帮助下,经过大量的调研,组织国内几十所大学材料科学与工程学科的知名教授组成“普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材编审委员会”,共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问,遵照教育部材料科学与工程专业教学指导委员会的有关会议及文件精神,经过充分研讨,决定首批编写出版 14 种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。本套新编系列教材的编写具有以下特色:

教材体系体现人才培养目标——本套系列教材的编写体现了高等学校材料科学与工程专业的人才培养目标和教学要求,从整体上考虑材料科学与工程专业课程的设计和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列化教材。本套教材的编写除正文以外,还增加了本章提要、本章小结、思考题与习题等内容,以使教材既适合于教学,又便于学生自学。

教材内容反映教改成果——本套系列教材的编写坚持“少而精”的原则,紧跟教学内容和课程体系改革的步伐,教材内容注重更新,反映教学改革的阶段性成果,以适应 21 世纪材料科学与工程专业人才的培养要求。本套系列教材的编写中,凡涉及材料科学与工程学科的技术规范与标准,全部采用国家最新颁布实施的技术规范和标准。

教材出版实现立体化——本套教材努力使用和推广现代化的教学手段,实现立体化出版,凡具备条件的课程都将根据教学需要,及时组织编写、制作和出版相应的电子课件或教案,以适应教育方式的变革。

本套教材是在教育部颁布实施重新修订的本科专业目录后,组织全国多所高等学校材料科学与工程学科的具有丰富教学经验的教授们共同编写的一套面向新世纪、适应新专业的全新的系列教材。能够为新世纪我国材料科学与工程专业教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为一套开创性的系列教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳地希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提宝贵的意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为我国高等教育事业的发展作出贡献。

武汉理工大学出版社

前 言

实验教学是高等院校教学过程中的一个重要环节,对于高素质人才的培养具有重要意义。过去,专业教学实验是依附专业课程而设置的,大部分是验证型、演示型实验,实验内容各自独立,实验的目的主要是验证理论。这种传统的教学模式带来的必然结果就是重理论、轻实践。不仅学生只注重理论课程的学习而不重视实验环节,许多教师也是如此,甚至有些实验老师感觉自己不是教师队伍的主体力量,而是一种辅助。这些现象严重影响了高校人才培养的质量,通常只能培养出动手能力不强的“书本型人才”,很难培养出具有创新能力和综合研究能力的新型人才,无法满足 21 世纪对工程技术人才的需要。因此,对高校实验教学进行改革迫在眉睫、势在必行。

在这个大背景下,武汉理工大学材料科学与工程专业的教师们针对实验教学,从实验内容体系、实验课程内容、实验教学方法等方面进行了一系列研究与改革。取消了所有理论课程中所设立的验证性实验项目,取而代之的是独立的四门实验课程:“材料科学基础实验”、“材料测试与分析技术实验”、“金相分析技术实验”和“材料组织结构控制与性能测试实验”。实验内容上,在保留常规基础实验的基础上,新增了许多能够反映现代科学技术的成果、与科技发展水平相适应的实验,能够与生产实际相结合的实验,以及有利于培养学生独立思考、综合利用知识、提高分析问题和解决问题的能力实验;增大了综合型、设计型实验比例等。

《金相分析技术实验教程》一书便是应实验教学改革而生,应独立的实验课程“金相分析技术实验”而生。该书编写的主要思想是反映材料科学与工程专业实验教学改革的成果。全书分为六章,第 1 章绪论,第 2 章金相显微分析基础实验,第 3 章相图及结晶学基础实验,第 4 章材料性能测试基础实验,第 5 章综合设计型实验,第 6 章实验仪器设备。该书共编写了 21 个实验项目,每个实验项目不仅介绍实验目的、实验原理、实验设备及耗材、实验内容,同时还对实验过程及实验结果与讨论给出具体要求,从而保证实验教学的效果。

本书由吴兴文担任主编,魏鹏、程晓敏担任副主编,刘生发担任主审。具体编写分工如下:第 2 章(实验 1~实验 4)、第 3 章、第 4 章、第 5 章和附录由吴兴文编写;第 1 章和第 6 章 6.4 节由魏鹏编写;第 2 章实验 5 由张覃轶编写;第 6 章 6.1 节和 6.2.5 节由文红艳编写;第 6 章 6.2.1~6.2.4 节由范宏利编写;第 6 章 6.3 节由贾建生编写。全书由吴兴文、程晓敏统稿、定稿。在此向所有付出辛勤劳动的编审者表示感谢。

本书是编者结合材料科学与工程专业多年来的实验教学成果以及实验仪器设备的使用与维护方面的经验,在参考大量文献资料的基础上整理编写的。在此向所有文献资料的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 9 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 金相显微分析技术的发展	(1)
1.3 金相显微分析技术的作用与地位	(2)
1.4 实验教学的目的与要求	(2)
1.4.1 实验教学的主要目的	(2)
1.4.2 实验应达到的基本要求	(3)
1.5 实验方法及手段	(3)
1.5.1 实验教学方法	(3)
1.5.2 实验教学手段	(4)
1.5.3 实验课程的考核	(4)
2 金相显微分析基础实验	(5)
实验1 金相显微镜的构造与使用	(5)
一、实验目的	(5)
二、实验原理	(5)
三、实验设备及耗材	(14)
四、实验内容	(14)
五、实验方案与技术路线	(14)
六、实验结果与讨论	(15)
实验2 金相试样的制备	(15)
一、实验目的	(15)
二、实验原理	(15)
三、实验设备及耗材	(21)
四、实验内容	(21)
五、实验方案与技术路线	(21)
六、实验结果与讨论	(21)
实验3 金相显微摄影实验	(22)
一、实验目的	(22)
二、实验原理	(22)
三、实验设备及耗材	(29)
四、实验内容	(29)
五、实验方案与技术路线	(29)
六、实验结果与讨论	(29)
实验4 定量金相实验	(30)

一、实验目的	(30)
二、实验原理	(30)
三、实验设备及耗材	(34)
四、实验内容	(34)
五、实验方案与技术路线	(35)
六、实验结果与讨论	(36)
实验 5 金相显微镜数字图像分析实验	(36)
一、实验目的	(36)
二、实验原理	(36)
三、实验设备及耗材	(48)
四、实验内容	(49)
五、实验方案与技术路线	(49)
六、实验结果与讨论	(50)
3 相图及结晶学基础实验	(51)
实验 6 金属凝固过程观察与讨论	(51)
一、实验目的	(51)
二、实验原理	(51)
三、实验设备及耗材	(53)
四、实验内容	(53)
五、实验方案与技术路线	(53)
六、实验结果与讨论	(54)
实验 7 二元共晶系合金的显微组织分析	(54)
一、实验目的	(54)
二、实验原理	(54)
三、实验设备及耗材	(59)
四、实验内容	(59)
五、实验方案与技术路线	(59)
六、实验结果与讨论	(59)
实验 8 二元合金不平衡组织分析	(60)
一、实验目的	(60)
二、实验原理	(60)
三、实验设备及耗材	(64)
四、实验内容	(64)
五、实验方案与技术路线	(64)
六、实验结果与讨论	(64)
实验 9 三元合金显微组织分析	(65)
一、实验目的	(65)
二、实验原理	(65)
三、实验设备及耗材	(68)

四、实验内容	(68)
五、实验方案与技术路线	(68)
六、实验结果与讨论	(69)
实验 10 典型金属晶体结构的钢球堆垛模型分析	(69)
一、实验目的	(69)
二、实验原理	(69)
三、实验设备及耗材	(73)
四、实验内容	(73)
五、实验方案与技术路线	(73)
六、实验结果与讨论	(74)
实验 11 位错蚀坑的观察与分析	(74)
一、实验目的	(74)
二、实验原理	(74)
三、实验设备及耗材	(79)
四、实验内容	(79)
五、实验方案与技术路线	(79)
六、实验结果与讨论	(80)
实验 12 宏观组织、低倍缺陷及非金属夹杂分析	(80)
一、实验目的	(80)
二、实验原理	(80)
三、实验设备及耗材	(84)
四、实验内容	(84)
五、实验方案与技术路线	(84)
六、实验结果与讨论	(85)
4 材料性能测试基础实验	(86)
实验 13 硬度测试实验	(86)
一、实验目的	(86)
二、实验原理	(86)
三、实验设备及耗材	(90)
四、实验内容	(90)
五、实验方案与技术路线	(90)
六、实验结果与讨论	(90)
实验 14 金属材料热膨胀系数测定实验	(91)
一、实验目的	(91)
二、实验原理	(91)
三、实验设备及耗材	(93)
四、实验内容	(93)
五、实验方案与技术路线	(93)
六、实验结果与讨论	(94)

实验 15 钢的相变点测试实验	(94)
一、实验目的	(94)
二、实验原理	(95)
三、实验设备及耗材	(96)
四、实验内容	(96)
五、实验方案与技术路线	(97)
六、实验结果与讨论	(97)
实验 16 再结晶温度测定实验	(97)
一、实验目的	(97)
二、实验原理	(97)
三、实验设备及耗材	(99)
四、实验内容	(99)
五、实验方案与技术路线	(99)
六、实验结果与讨论	(100)
实验 17 相变潜热测定实验	(100)
一、实验目的	(100)
二、实验原理	(100)
三、实验设备及耗材	(102)
四、实验内容	(102)
五、实验方案与技术路线	(102)
六、实验结果与讨论	(103)
5 综合设计型实验	(104)
实验 18 二元合金的制备及组织分析实验	(104)
一、实验目的	(104)
二、实验原理	(104)
三、实验设备及耗材	(108)
四、实验内容	(109)
五、实验方案与技术路线	(109)
六、实验结果与讨论	(109)
实验 19 铁碳合金组织与性能综合分析实验	(110)
一、实验目的	(110)
二、实验原理	(110)
三、实验设备及耗材	(116)
四、实验内容	(116)
五、实验方案与技术路线	(117)
六、实验结果与讨论	(117)
实验 20 工业纯铁的塑性变形与再结晶综合实验	(118)
一、实验目的	(118)
二、实验原理	(118)

三、实验设备及耗材	(121)
四、实验内容	(121)
五、实验方案与技术路线	(121)
六、实验结果与讨论	(122)
实验 21 铝片塑性变形与再结晶实验	(122)
一、实验目的	(122)
二、实验原理	(122)
三、实验设备及耗材	(124)
四、实验内容	(124)
五、实验方案与技术路线	(125)
六、实验结果与讨论	(125)
6 实验仪器设备	(126)
6.1 金相显微镜	(126)
6.1.1 XJB-1 型金相显微镜	(126)
6.1.2 CMM-55Z 型金相显微镜	(128)
6.1.3 DMM-400C 型和 4XCE 型倒置金相显微镜	(131)
6.1.4 NIKON 研究级 LV100POL 型透射/反射偏光显微镜	(137)
6.2 硬度计	(143)
6.2.1 HB-3000 型布氏硬度计	(143)
6.2.2 HBE-3000A 型电子布氏硬度计	(145)
6.2.3 HR-150A 型洛氏硬度计	(147)
6.2.4 HRS-150 型数显洛氏硬度计	(149)
6.2.5 HX-1000TM/LCD 数字式显微硬度计	(151)
6.3 材料试验机	(160)
6.3.1 WE-600B 型液压式万能试验机	(161)
6.3.2 RGM4000 系列微机控制电子万能试验机	(164)
6.4 金相切割机	(166)
6.4.1 国内外金相试样切割机状况	(166)
6.4.2 金相试样切割机结构概述	(166)
6.4.3 金相试样切割机安装与使用方法	(167)
6.4.4 金相试样切割机维护与保养	(167)
6.4.5 常用的金相试样切割机	(168)
附录	(170)
附录 1 常用浸蚀剂	(170)
附录 2 布氏、维氏、洛氏硬度值换算表	(172)
参考文献	(174)

1 绪 论

1.1 概 述

材料的性能由材料的内部结构决定,随着材料科学研究的深入和发展,人们对材料的性能要求越来越高,也更加注重研究材料结构与性能之间的关系。在材料工业中,金属材料一直占有主导地位,金属材料学是材料科学中主要的骨干学科分支,在材料的研究、生产、应用中也占据着最为重要的地位。

金相显微分析是金属材料科学研究中一种很重要的研究方法,它可以观察和研究金属中用宏观分析方法无法观察到的组织细节及缺陷。金相几何参数的研究属于定量金相范畴,对材料科学的研究意义重大。金相显微技术分析利用定量金相学原理,由二维金相试样磨面或薄膜的金相显微组织的测量和计算来确定合金组织的三维空间形貌,从而建立合金成分、组织和性能间的定量关系。

1.2 金相显微分析技术的发展

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。从肉眼的观察分析到光学金相显微镜的出现,进而到电子显微镜的应用,标志着研究金相组织技术的发展,反映了人们认识的不断深化。随着近代检测技术的发展,组织与结构之间的界线正被突破。

19 世纪初,Aloysvon Widmanstätt 在硝酸水溶液腐蚀铁陨石切片时,观察到片状奥氏体有规则分布(魏氏组织),预示了金相学的诞生。1863 年,H. C. Sorby(索氏)在用反射式显微镜观察抛光腐蚀的钢铁试样时,看到珠光体中的渗碳体和铁素体的片状组织,并且对钢的淬火和回火作了初步探讨,标志着金相学基本形成。19 世纪末 20 世纪初,Martens(马氏)和 Osmond 将金相检验在厂矿中进行推广,同时 Roberts Austen(奥氏)和 Bakhuys Roozeboom 初步绘制出了 Fe-C 平衡图,为金相学奠定了理论基础。

经过两个世纪的发展,金相学已成为一门成熟的学科。随着科学技术的发展,金相学也不断地充实新内容和扩大新领域。金相学被认为是金属学的先导,是金属学赖以形成与发展的基础,亦曾被用作早期金属学的代名词,金属材料与热处理专业在过去相当长的一段时期内曾被简称为“金相专业”。

金相显微分析技术经历了三个阶段:第一阶段主要依靠显微镜的测量网格,外加手动计数器和投影仪等辅助工具,这个阶段的测量方法称作人工方法;第二阶段的主要设备是数字化板,具有简单的图像编辑功能,可以观察和修正数字图像,这种测量方法称为半自动方法;目前处于第三阶段,使用图像分析软件和摄像机等设备,称为全自动方法。长期以来,人们都采用传统的定性和半定量的方法对金相组织进行分析和评定。随着现代科学的发展,特别是定量

金相学理论和数字图像技术的发展,定量金相学在实际工作中得到了更广泛的应用,已经成为金相学的一个重要分支。目前,定量金相的自动图像分析在材料科学领域中已得到了广泛应用。无疑,定量金相的自动图像分析与手工测试相比,无论在准确度还是在快速性方面,其优势都非常明显。因此,它在金属材料的研究和生产中已经发挥了显著的作用。由于金属是不透明的,要定量研究金属的组织,只能从二维磨面的组织或薄膜投影图像去推断三维组织。图像分析的基本方法就是由二维图像(来源于金相试样或照片)提取需要的特征信息并自动进行处理、测量和计算,最后输出图像的特征参数或计算值。

最早使用的光学显微镜虽然简单方便,但是它的分辨率不高,仅能观察到金相组织中几十微米尺度的细节。目前的主要发展趋势是定量金相学,也就是把光学显微镜配上电子计算机,对显微组织的一些特征进行定量分析。

随着新材料的不断出现,金相显微分析技术的研究范围也逐渐扩大,并渗透到其他材料领域,发展成为材料科学。如在半导体材料的发展中,位错等晶体缺陷的概念主要是在金属研究中形成的,现在不但成为半导体等晶体材料的一项质量指标,也在地质矿物学中受到重视。另外,合金强化等技术也已应用到高分子材料中。

1.3 金相显微分析技术的作用与地位

通过金相显微分析对材料的微观组织结构进行检验和评定,是检验产品质量的重要依据。在新材料、新工艺、新产品的研究开发中,在提高材料制品内在质量的科研分析中,金相显微分析得到了广泛的应用,至今在工程应用上依然是研究、分析、鉴别和评定金属材料组织状态的有力工具。

材料的成分、显微组织结构、制备工艺与材料性能及应用之间有着密切的联系,而显微组织结构则是连接它们的枢纽。对显微组织的正确分析可以获知材料成分、制备工艺及材料性能等诸多信息。但是,由于不同的材料具有不同的显微组织形态,即使是同一种材料,它的处理工艺不同,得到的显微组织也不同,同一种材料在不同的放大倍数下其显微组织形貌也不一样,因此,正确进行金相显微组织的分析与识别不仅是一个比较系统、复杂的过程,而且要具备一定的理论基础知识和实践经验。

1.4 实验教学的目与要求

金相分析技术实验教学与理论教学在内容上有着很密切的关系,是用实验的手段来确定材料成分、组织和性能之间的关系。

实验的作用不仅在于验证已知的现象和规律,进一步理解基本理论,更重要的是,通过各种实验,掌握相应的实验技能,培养独立工作和分析问题的能力,进而培养综合创新能力。

1.4.1 实验教学的主要目的

- (1) 在实验中,还原理论知识中涉及的概念、术语和应用对象。
- (2) 深化对理论知识的学习,加深对理论知识体系的整体认识。
- (3) 了解、熟悉和掌握相关仪器、设备和装置的原理、作用及应用。

- (4) 掌握一定的实践操作技能,培养独立工作和分析问题的能力。
- (5) 培养严谨、科学、求实的工作作风,提高综合创新能力。

1.4.2 实验应达到的基本要求

- (1) 学会常用材料的金相显微分析,通过对金相显微组织中基本参数的测量,完成对常规金属材料的识别。
- (2) 合理利用相图及结晶学基础,掌握常见二元、三元合金凝固过程的分析方法,进一步认识和掌握常见合金的金相显微组织特征,提高分析组织与识别组织的能力。
- (3) 掌握硬度、金属材料热膨胀系数、钢的相变点、再结晶温度、相变潜热等材料性能测试基础实验。
- (4) 掌握合金的制备及组织分析等综合设计实验,让学生进一步理解材料中成分—组织—性能之间的内在定量关系,提高其在实际应用中正确选材及合理制定材料加工工艺的能力。
- (5) 严谨地进行科学实验,实事求是地记录实验数据,正确地归纳、推理、分析、判断。

1.5 实验方法及手段

实验教学作为高等院校教学体系的重要组成部分,担负着培养学生理论联系实际和实践能力等方面的重要任务。随着科学技术的发展和社会的进步,对大学生的综合素质也提出了新的要求。因此,实验教学的内容、方式、方法和手段将直接关系到学生综合素质的培养,关系到高素质人才的培养。

为了适应各类人员的实验教学,本教程所列实验项目适用于不同课时的教学计划。通过对实验项目予以合理的组合编排,可加强对理论和实验知识体系的掌握,在要求课时内达到最佳的教学效果。

1.5.1 实验教学方法

教师应采用启发式教学的方法设置问题,推动学生的独立思考;注重理论知识和实验现象之间的有机衔接;在教学过程中,改变单一的传统教学方法,根据课程性质、实验内容的不同,采取不同的教学方法,建立以学生为中心的实验教学模式,形成以常规式、自助式、研究式为主的教学方法。

(1) 常规演示—操作方法

常规演示—操作方法是在老师讲解实验原理和基本步骤之后,老师对主要的实验过程进行演示,对要点加以重点提示之后,由学生自己进行实验。

(2) 自助式方法

自助式方法是由老师对学生提出实验目的和实验要求之后,给学生提供若干原材料和仪器设备的选项,由学生根据自己的预先设计或打算加以选择,完成实验。

(3) 研究式实验法

研究式实验法的实验方案事先并不完全确定,结果也是不完全可预见的。此时,通常需要学生根据研究目的提出原材料清单和打算采用的仪器设备。学生在这种实验中自主性大大增

加,得到的锻炼更大。

1.5.2 实验教学手段

(1) 实物操作

在实验室,利用各种实物(如原材料、仪器设备等)进行实际操作,这是锻炼动手能力的必要手段。如在金相组织分析中,由学生自己制备的试样进行金相显微镜观察、金相组织拍照,让同学之间相互对比观察,了解不同的金相组织形态特点及观察分析方法。通过这种手段,让学生的动手能力和金相组织分析能力得到明显增强。

(2) 多媒体课件

多媒体课件的特点是生动形象、概念明晰、概括性强,可以促进学生对实验内容的理解和提升,是一种新的辅助教学形式。例如,由于同学们对各种类型的组织特征、组织和相的关系不容易理解,于是将实验中涉及的各种试样分类,制成金相照片,再用 Power Point 制成图文并茂的课件,在教师讲解实验内容时播放出来。这样不仅大大减轻了教师的工作强度,为实验教学赢得了宝贵的时间,也将实验内容迅速准确地传达给学生,让学生能有更多的时间去观察、体会和消化实验内容。

1.5.3 实验课程的考核

对学生实验教学的效果采用“三阶段”考核办法,即实验预习阶段的检查、实验过程中规范性的评价和实验报告的质量。学生完成某一实验后总的成绩为上述几个部分之和。这种考评方法突出了以学生为主体的实验教学模式,可促进学生的主体意识,调动学生的积极性,激发他们的参与热情,培养学生发现问题、分析问题、解决问题的能力。

构建科学的实验方法体系,对提高实验教学质量,全面把握学生学习效果,提高学生学习积极性和主动性具有重要意义。

2 金相显微分析基础实验

实验 1 金相显微镜的构造与使用

一、实验目的

- (1) 了解金相显微镜的光学原理及影响光学成像质量的因素。
- (2) 熟悉金相显微镜的结构及主要部件的作用。
- (3) 掌握金相显微镜的使用方法。

二、实验原理

1. 金相显微镜的放大成像原理

金相显微镜是利用光线的反射原理,将不透明的物体放大后进行观察。金相显微镜一般由两个透镜组成,将物体进行第一次放大的透镜称为物镜,将物镜所成的像进行第二次放大的透镜称为目镜。金相显微镜的基本成像原理如图 2.1 所示。

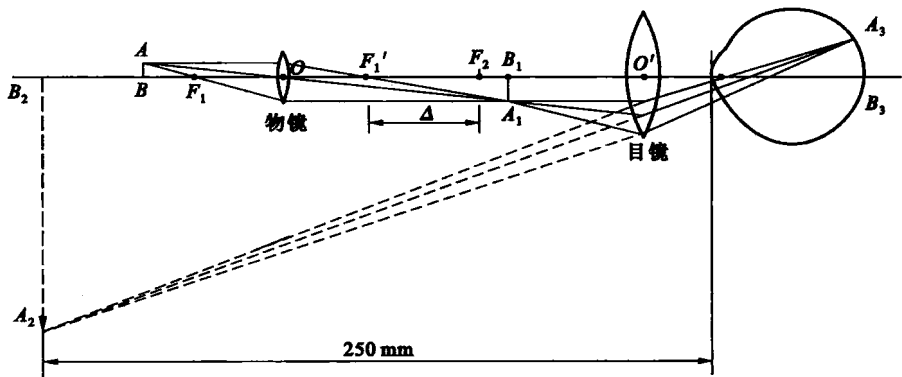


图 2.1 金相显微镜放大成像原理示意图

由图 2.1 可见,金相显微镜是经过两次成像的光学仪器。物体 AB 位于物镜的焦点 F_1 以外,经物镜放大而成为倒立的实像 A_1B_1 ,这一实像恰巧落在目镜的焦点 F_2 以外,最后由目镜再次放大为一虚像 A_2B_2 ,人们在观察组织时所见到的像,就是经物镜、目镜两次放大,在距人眼约 250 mm 明视距离处形成的虚像。

物镜的放大倍数:

$$M_{\text{物}} = \frac{A_1B_1}{AB} \tag{2.1}$$

目镜的放大倍数:

$$M_{\text{目}} = \frac{A_2 B_2}{A_1 B_1} \quad (2.2)$$

将两式相乘：

$$M_{\text{物}} \cdot M_{\text{目}} = \frac{A_1 B_1}{AB} \cdot \frac{A_2 B_2}{A_1 B_1} = \frac{A_2 B_2}{AB} = M \quad (2.3)$$

上式说明，显微镜的总放大倍数 M 等于物镜放大倍数和目镜放大倍数的乘积。目前，普通光学金相显微镜最高有效放大倍数为 1600~2000 倍。

参照图 2.1，如果忽略 AB 与 F_1 、 $A_1 B_1$ 与 F_2 的间距，依相似三角形定理可求出：

$$M_{\text{物}} = \frac{A_1 B_1}{AB} = \frac{F_1' F_2}{F_1 O} = \frac{\Delta}{f_{\text{物}}} \quad (2.4)$$

式中 Δ ——光学镜筒长度；

$f_{\text{物}}$ ——物镜焦距。

因为光学镜筒长度为定值，可见，物镜放大倍数越高，物镜的焦距越短，物镜离物体越近。

2. 透镜像差

透镜在成像过程中，由于受到本身物理条件的限制，会使影像变形或模糊不清。这种缺陷称为像差。在金相显微镜的物镜、目镜以及光路系统设计制造中，虽尽量将像差减少到很小的范围，但依然存在。像差有多种，其中对成像质量影响最大的是球面像差、色像差和像域弯曲三种。

(1) 球面像差(球差)

由于透镜表面为球面，其中心与边缘厚度不同，因而来自一点的单色光经过透镜折射后，靠近中心部分的光线偏折角度小，在离透镜较远的位置聚焦；而靠近边缘处的光线偏折角度大，在离透镜较近的位置聚焦，因而必然形成沿光轴分布的一系列的像，使成像模糊不清，这种现象称为球面像差，如图 2.2 所示。

球面像差主要靠由凸透镜和凹透镜所组成的透镜组来减小。另外，通过加光栏的办法缩小透镜成像范围，也可以减小球面像差的影响。

(2) 色像差(色差)

色像差与光波波长有着密切关系。当白色光中不同波长的光线通过透镜时，因其折射角度不同而引起像差。波长越短，折射率越大，其焦点越近；波长越长，折射率越小，则焦点越远。因而不同波长的光线，不能同时在一点聚焦，致使影像模糊，或在视场边缘上见到彩色环带，这种现象称为色像差，如图 2.3 所示。

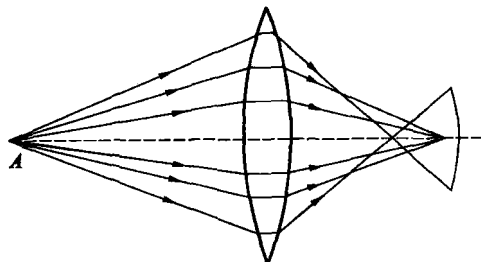


图 2.2 球面像差示意图

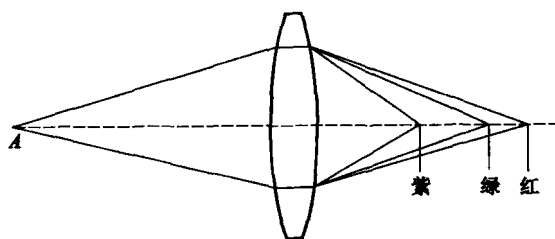


图 2.3 色像差示意图

色像差同样可以靠透镜组来减小影响。在光路中加上滤光片，使白色光变成单色光也能