

材料科学与工程实验与实践系列规划教材

材料科学基础精选 实验教程

赵玉珍 主编

清华大学出版社

材料科学与工程实验与实践系列规划教材

材料科学基础精选实验教程

赵玉珍 主编

清华大学出版社



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

全书包括金相显微镜的原理、结构及使用,定量金相分析,金相显微试样的制备,金属材料的硬度测定,扫描电子显微分析,X射线衍射分析,晶体结晶过程观察与凝固条件对金属铸锭组织的影响,金属材料的塑性变形与再结晶,碳钢组织观察及性能分析,碳钢及合金钢的应用,钢的热处理及其晶粒细化,无铅钎料的研制,纳米氧化锌的制备及形貌观察,微晶玻璃的制备与性能测试,共14章。教材内容涵盖了培养学生实验研究能力、创新能力的基础性实验、综合性实验及研究型实验。每个实验介绍了实验目的、实验内容、实验报告要求、思考题等,在要求掌握的实验之外,又提出了相关拓展实验。

本书为清华大学材料学院本科生专业课程的实验教材,也可作为高等院校材料类、机械类等专业的本科生实验教学用书。还可供有关教师、研究生和工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料科学基础精选实验教程/赵玉珍主编。—北京:清华大学出版社,2018

(材料科学与工程实验与实践系列规划教材)

ISBN 978-7-302-50732-1

I. ①材… II. ①赵… III. ①材料科学—实验—高等学校—教材 IV. ①TB3-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第172270号

责任编辑:赵斌

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:12.75

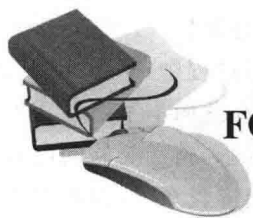
字 数:309千字

版 次:2018年9月第1版

印 次:2018年9月第1次印刷

定 价:39.00元

产品编号:073811-01



前言

FOREWORD

本书为材料科学与工程学科的本科生而编写,是本专业主要基础课“材料科学基础”的配套实验指导,目的是使学生对材料科学的基础知识有更感性的认识,通过实验对其加深了解,能初步做到学以致用。

本书精选了 14 个实验,包括三方面的内容:

1. 基础性实验 6 个,均为与材料微观组织结构分析相关的实验,包括金相显微镜的原理、结构及使用,定量金相分析,金相显微试样的制备,金属材料的硬度测定,扫描电子显微分析及 X 射线衍射分析。硬度检测是一种简单的、基本不破坏试样的表征力学性能的方法,可以用来考查组织对性能的影响,故也放在了基本实验的部分。希望通过这部分实验使学生掌握材料研究的最基本技术。

2. 综合性实验 3 个,包括晶体结晶过程观察与凝固条件对金属铸锭组织的影响,金属材料的塑性形变与再结晶,碳钢组织观察及性能分析。涵盖了金属物理冶金的最基本内容,通过这些实验,学生可对材料科学基础中所学知识有更深切的认识。

3. 研究性实验 5 个,碳钢及合金钢的应用是为使学生对国计民生中大量使用的结构材料的组织与性能的关系以及工艺对组织性能的影响有切身的体会;钢的热处理及其晶粒细化要求学生深入体会热处理原理,并灵活运用解决实际问题;无铅钎料的研制、纳米氧化锌的制备及形貌观察及微晶玻璃的制备与性能测试是为进一步拓宽学生在新材料的制备、表征和性能方面的知识,培养他们文献调研和自学能力。

这些实验一般安排 32 学时,前两篇实验是每个学生必做的,研究性实验任选其一,以达到初步的研究体验为目的。

本书第 1、2、8 章由清华大学材料学院雷书玲工程师与赵玉珍高级工程师联合编写,第 11 章由清华大学材料学院张玉朵博士编写,第 13 章由电子科技大学中山学院材料与食品学院王悦辉教授编写,第 14 章由中国科学院过程工程研究所曹建蔚研究员编写。其余章节由清华大学材料学院赵玉珍高级工程师编写。

清华大学材料学院顾家琳教授对本书的内容及编排提出了宝贵建议;教材获得清华大学本科生教改项目和材料学院教学经费的大力资助,并得到了清华大学出版社的大力支持

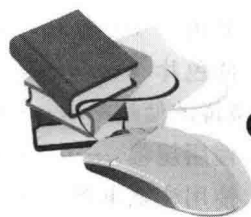
与指导,在此一并感谢!

本教材在编写过程中,参考了国内外的相关教材、专著、期刊及网络文献相关内容,已列在参考文献部分,在此向本书所引用参考文献的原作者表示敬意和感谢!

限于编者的水平,精选实验的内容可能欠妥或有考虑不周之处,殷切希望专家学者及使用本书的读者提出宝贵意见,以期改进。

编者

2017年10月



目录

CONTENTS

第一篇 基础性实验

第 1 章 金相显微镜的原理、结构及使用	3
1.1 金相显微镜的构造	3
1.1.1 照明系统	4
1.1.2 机械系统	4
1.1.3 光学系统	5
1.2 显微镜成像原理	6
1.3 显微镜的放大率	7
1.4 透镜成像的质量	8
1.4.1 球面像差	8
1.4.2 色像差	9
1.4.3 像域弯曲	9
1.5 显微镜的物镜	10
1.5.1 数值孔径	10
1.5.2 分辨率	11
1.5.3 焦深(垂直分辨率)	12
1.5.4 工作距离与视场范围	12
1.5.5 物镜的基本类型	12
1.6 显微镜的目镜	13
1.7 金相显微镜的照明系统	14
1.7.1 光源	14
1.7.2 临界照明与科勒照明	14
1.7.3 照明方式与垂直照明器	15

1.7.4	光阑	17
1.7.5	滤色片	17
1.8	金相显微镜的使用	17
1.8.1	使用规程	17
1.8.2	使用注意事项	18
1.9	图像采集与处理	18
1.10	实验部分	18
1.10.1	实验目的	18
1.10.2	实验内容	19
1.10.3	实验报告要求	19
1.10.4	思考题	19
	参考文献	19
第2章	定量金相分析	20
2.1	引言	20
2.2	基本符号和基本方程	20
2.3	定量分析的基本方法	22
2.3.1	比较法	22
2.3.2	截线法	22
2.3.3	截面法	22
2.4	定量分析在材料研究中的应用	23
2.4.1	晶粒尺寸的测定	23
2.4.2	第二相颗粒的几何尺寸测定	25
2.4.3	误差分析	26
2.4.4	金相图像分析系统	26
2.5	实验部分	27
2.5.1	实验目的	27
2.5.2	实验内容	27
2.5.3	实验报告要求	28
2.5.4	思考题	28
	参考文献	28
第3章	金相显微试样的制备	29
3.1	概述	29
3.2	金相显微试样的制备	30
3.2.1	取样	30
3.2.2	镶样	31
3.2.3	磨光	33
3.2.4	抛光	36



3.2.5	腐蚀	38
3.3	实验部分	39
3.3.1	实验目的	39
3.3.2	实验内容	39
3.3.3	实验报告要求	40
3.3.4	思考题	40
3.3.5	拓展实验研究	40
	参考文献	40
第 4 章	金属材料的硬度测定	41
4.1	概述	41
4.2	洛氏硬度及其测试方法	42
4.2.1	洛氏硬度测试原理	42
4.2.2	洛氏硬度的测试	44
4.3	布氏硬度及其测试方法	44
4.3.1	布氏硬度测试原理	44
4.3.2	布氏硬度的测试	46
4.3.3	布氏硬度的特点	47
4.4	维氏硬度及其测试方法	47
4.4.1	维氏硬度测量原理	47
4.4.2	维氏硬度的测试	49
4.4.3	维氏硬度的特点	49
4.5	显微硬度及其测试方法	50
4.5.1	测量原理	50
4.5.2	显微硬度的测试步骤	50
4.5.3	影响显微硬度值的因素	51
4.6	使用硬度计应注意的事项	52
4.7	实验部分	52
4.7.1	实验目的	52
4.7.2	实验内容	53
4.7.3	实验报告要求	53
4.7.4	思考题	53
4.7.5	拓展实验	53
	参考文献	54
第 5 章	扫描电子显微分析	55
5.1	光学显微镜的分辨率极限	55
5.2	电子波长及电子显微镜分辨率	56
5.3	电子束与物质的相互作用	56

5.3.1	二次电子	58
5.3.2	背散射电子	58
5.3.3	特征 X 射线	58
5.3.4	俄歇电子	58
5.3.5	阴极荧光	59
5.4	扫描电镜的主要工作原理	59
5.4.1	扫描电镜的原理简介	59
5.4.2	扫描电镜的放大倍数和分辨率	60
5.4.3	扫描电镜的景深	60
5.4.4	二次电子及其成像	61
5.4.5	背散射电子及其成像	62
5.4.6	特征 X 射线及成分分析	62
5.5	扫描电镜的组成系统	64
5.5.1	电子光学系统	64
5.5.2	电磁偏转系统	66
5.5.3	扫描系统	66
5.5.4	信号检测放大系统	66
5.5.5	真空系统和试样室	67
5.6	电磁透镜成像质量	67
5.6.1	球面像差	68
5.6.2	色差	68
5.6.3	像散	68
5.6.4	衍射差	69
5.7	图像的分辨率及其影响因素	69
5.8	扫描电镜的使用	69
5.8.1	样品的制备	70
5.8.2	重要操作步骤	70
5.8.3	电子光学系统合轴	71
5.9	实验部分	71
5.9.1	实验目的	71
5.9.2	实验内容	72
5.9.3	实验报告要求	72
5.9.4	思考题	72
5.9.5	拓展实验	72
	参考文献	72
第 6 章 X 射线衍射分析		73
6.1	引言	73
6.2	X 射线衍射仪的原理	73

6.3	X 射线衍射技术在材料分析中的应用	74
6.3.1	物相分析	74
6.3.2	X 射线衍射仪的基本组成	74
6.4	X 射线衍射实验方法	77
6.4.1	样品的制备	77
6.4.2	实验参数选择	78
6.5	物相分析原理和方法	79
6.5.1	物相分析原理	79
6.5.2	物相定性分析的方法	80
6.6	实验部分	81
6.6.1	实验目的	81
6.6.2	实验内容	81
6.6.3	实验报告要求	81
6.6.4	思考题	81
6.6.5	拓展实验	81
	参考文献	82

第二篇 综合性实验

第 7 章	晶体结晶过程观察与凝固条件对金属铸锭组织的影响	85
7.1	引言	85
7.2	盐类结晶过程观察	85
7.3	铸锭组织	87
7.4	影响柱状晶区和等轴晶区生长的因素	88
7.5	实验部分	89
7.5.1	实验目的	89
7.5.2	实验内容	89
7.5.3	实验报告要求	90
7.5.4	拓展实验	90
	参考文献	90
第 8 章	金属材料的塑性变形与再结晶	91
8.1	塑性变形的的基本方式及其特征	91
8.1.1	滑移	91
8.1.2	孪生	91
8.2	冷塑性变形对金属组织与性能的影响	93
8.3	冷变形后金属加热时组织与性能的变化	94
8.3.1	回复	94
8.3.2	再结晶	94

8.3.3 晶粒长大	97
8.4 实验部分	97
8.4.1 实验目的	97
8.4.2 实验内容	98
8.4.3 实验报告要求	98
8.4.4 思考题	98
8.4.5 拓展实验	98
参考文献	98
第9章 碳钢组织观察及性能分析	99
9.1 引言	99
9.2 Fe-Fe ₃ C 相图	99
9.2.1 钢的相变	99
9.2.2 冷却速度对组织的影响	101
9.3 钢的热处理	103
9.3.1 过冷奥氏体转变曲线	103
9.3.2 过冷奥氏体连续冷却转变曲线	105
9.4 钢的热处理工艺	106
9.4.1 退火	106
9.4.2 正火	107
9.4.3 淬火	108
9.4.4 回火	110
9.5 钢的显微组织	111
9.5.1 钢的退火组织	111
9.5.2 钢的淬火组织	112
9.5.3 钢的回火组织	113
9.5.4 钢中的贝氏体	115
9.6 实验部分	116
9.6.1 实验目的	116
9.6.2 实验设备及用品	117
9.6.3 实验内容	117
9.6.4 实验报告要求	117
参考文献	117

第三篇 研究性实验

第10章 碳钢及合金钢的应用	121
10.1 碳钢的分类及应用	121
10.1.1 普通碳素结构钢	121

10.1.2	优质碳素结构钢	121
10.1.3	碳素工具钢	122
10.2	合金钢	123
10.2.1	合金元素在钢中的作用	123
10.2.2	合金钢分类及牌号	126
10.3	合金结构钢	126
10.3.1	低合金结构钢	127
10.3.2	合金渗碳钢	127
10.3.3	合金调质钢	128
10.3.4	合金弹簧钢	129
10.3.5	滚珠轴承钢	129
10.4	合金工具钢	130
10.4.1	低合金工具钢	130
10.4.2	高合金工具钢	131
10.5	特殊性能钢	132
10.5.1	不锈钢	132
10.5.2	耐热钢	134
10.5.3	低温钢	135
10.5.4	耐磨钢	136
10.6	实验部分	136
10.6.1	实验目的	136
10.6.2	实验设备及用品	136
10.6.3	实验内容	136
10.6.4	实验报告要求	138
	参考文献	138
第 11 章	钢的热处理及其晶粒细化	139
11.1	钢晶粒细化的必要性	139
11.2	奥氏体的晶粒度及晶界显示	140
11.2.1	奥氏体的晶粒度	140
11.2.2	原奥氏体晶界的显示	140
11.3	钢在加热过程中的组织转变	142
11.4	组织遗传性的影响因素	144
11.5	晶粒细化的热处理工艺	145
11.5.1	低合金钢和碳钢	145
11.5.2	合金钢	145
11.6	实验部分	147
11.6.1	实验目的	147
11.6.2	实验设备及用品	147

11.6.3	实验内容	147
11.6.4	实验报告要求	148
	参考文献	148
第 12 章	无铅钎料的研制	149
12.1	锡钎焊的发展史	149
12.2	电子行业对无铅钎料的要求	150
12.2.1	表面封装技术的发展	150
12.2.2	SMT 的可靠性对无铅钎料的要求	151
12.3	国内外研究状况	152
12.4	焊锡的相图与组织	153
12.5	Sn-Cu 系无铅钎料	154
12.5.1	Sn-Cu 系无铅钎料的特性	155
12.5.2	Sn-Cu 系无铅钎料存在的问题	155
12.5.3	添加不同元素对 Sn-Cu 系无铅钎料性能的影响	155
12.5.4	Sn-Cu 系无铅钎料的发展方向	157
12.6	Sn-Ag 系及 Sn-Ag-Cu 系无铅钎料	157
12.6.1	Sn-Ag 二元合金	157
12.6.2	Sn-Ag-Cu 三元合金	158
12.6.3	Sn-Ag-Cu 系三元钎料的合金组织及金属间化合物	159
12.7	实验部分	162
12.7.1	实验目的	162
12.7.2	实验内容	162
12.7.3	实验报告要求	164
	参考文献	164
第 13 章	纳米氧化锌的制备及形貌观察	165
13.1	引言	165
13.2	纳米氧化锌的应用	165
13.3	纳米氧化锌的制备	170
13.3.1	水热法	170
13.3.2	水热反应过程	170
13.4	实验部分	172
13.4.1	实验目的	172
13.4.2	实验原料及仪器	172
13.4.3	实验过程	172
13.4.4	实验内容	172
13.4.5	实验注意事项	174
13.4.6	思考题	175



13.4.7 实验报告要求	175
参考文献	175
第 14 章 微晶玻璃的制备与性能测试	176
14.1 引言	176
14.1.1 微晶玻璃的性能及应用	176
14.1.2 微晶玻璃的分类	178
14.2 微晶玻璃的制备方法	178
14.2.1 整体析晶法	178
14.2.2 烧结法	180
14.2.3 溶胶-凝胶法	181
14.2.4 浮法	181
14.3 微晶玻璃的性能	181
14.3.1 密度	182
14.3.2 强度	183
14.3.3 硬度	183
14.3.4 热膨胀系数和抗热冲击性能	184
14.3.5 电阻率	184
14.3.6 介电常数和介电损耗	185
14.3.7 化学性质	186
14.3.8 光学性质	187
14.4 CaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 微晶玻璃微观组织观察	187
14.5 实验部分	188
14.5.1 实验目的	188
14.5.2 实验设备及原料	188
14.5.3 实验内容	189
14.5.4 思考题	190
14.5.5 实验报告要求	190
参考文献	190

第一篇 基础性实验

第1章

金相显微镜的原理、结构及使用

显微分析是研究金属材料科学的一种重要方法,它可以研究用宏观分析方法无法观察到的组织细节及缺陷。光学显微技术可以确定大部分金属的金相组织及组成,对经过适当制备的材料表面进行检验,根据检验要求,对未侵蚀或侵蚀后的样品进行检验。金相显微镜就是利用光学显微技术进行显微分析的主要工具。

1.1 金相显微镜的构造

金相显微镜的种类和形式很多,按光路分为正置式显微镜和倒置式显微镜,正置和倒置是相对于被观察的试样的抛光面的取向而言。倒置式物镜朝上如图 1.1(a)所示,正置式物镜朝下如图 1.1(b)所示。显微镜按外形可分为台式(图 1.1(a))、立式(图 1.1(b))、卧式(图 1.1(c));按功能与用途可分为初级型、中级型、高级型。初级型具有明场观察,结构简

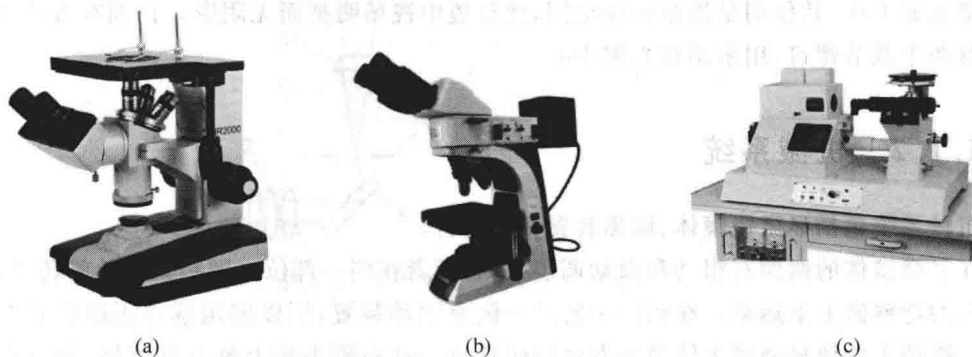


图 1.1 金相显微镜

(a) 台式金相显微镜; (b) 立式金相显微镜; (c) 卧式金相显微镜