

高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

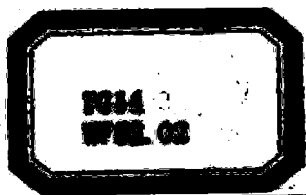
金属材料学

(第2版)

吴承建 陈国良 强文江 等编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



高等学校规划教材

金属材料学

(第2版)

吴承建 陈国良 强文江 等编著

北 京

冶金工业出版社

2009

内 容 提 要

本书按照高等学校材料科学与工程、金属材料工程及冶金工程本科专业的“金属材料学”课程教学大纲编定,着重于金属材料基本原理的阐述。全书分四篇,分别对钢铁材料、非铁金属材料、金属功能材料和新型金属材料进行介绍。

本书定位于高等学校金属材料工程专业,以及传统上以金属材料为主或者侧重于金属材料的学校的材料科学与工程专业的教学用书,也可供从事金属材料的研究、开发与使用部门的科技、管理及生产人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料学/吴承建等编著.—2版.—北京:冶金工业出版社,2009.8
高等学校规划教材
ISBN 978-7-5024-4633-8

I. 金… II. 吴… III. 金属材料—高等学校—教材
IV. TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 28901 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街高碑院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 李枝梅 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4633-8

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2000 年 10 月第 1 版,2009 年 8 月第 2 版,2009 年 8 月第 8 次印刷

185mm×230mm;28.5 印张;633 千字;436 页;22001-26000 册

52.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前言

(第1版)

本书作为普通高等教育“九五”国家级重点教材，按照材料科学与工程、金属材料、金属工程、冶金等专业的“金属材料学”课程教学大纲编定，它是我们多年进行材料研究和教学实践的总结。本书着重于金属材料的合金化原理的阐述，并强调了材料的冶金质量问题。其讲授时间为40学时到60学时，可根据不同专业的要求，在内容上有所取舍。本书也可供从事金属材料工作的科技人员参阅。

参加本书编写工作的有：北京科技大学吴承建（第1~10、18章）、陈国良（第11、17章）和强文江（第12~16章）。全书由吴承建担任主编。

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
中国冶金百科全书·金属材料	编委会	229.00
现代材料表面技术科学	戴达煌	99.00
金属学原理(本科教材)	余永宁	56.00
金属学原理习题解答(本科教材)	余永宁	19.00
金属学(第2版)(本科教材)	宋维锡	44.90
材料科学基础(本科教材)	李 见	45.00
稀有金属冶金学(本科教材)	李洪桂	34.80
材料成形实验技术(本科教材)	胡灶福	18.00
金属材料工程专业实验教程(本科教材)	那顺桑	22.00
轻金属冶金学(本科教材)	杨重愚	39.80
重金属冶金学(本科教材)	陈国发	39.00
有色金属冶金学(本科教材)	邱竹贤	48.00
塑性加工金属学(本科教材)	王占学	25.00
材料腐蚀与防护(本科教材)	孙秋霞	25.00
真空材料(本科教材)	张以忱	29.00
纳米材料的制备及应用(本科教材)	黄开金	33.00
耐火材料(第2版)(本科教材)	薛群虎	35.00
耐火材料工艺学(第2版)(本科教材)	王维邦	28.00
金属学与热处理(本科教材)	陈惠芬	39.00
金属压力加工原理(本科教材)	魏立群	26.00
金属塑性成形理论(本科教材)	徐 春	28.00
金属压力加工工艺学(本科教材)	柳谋渊	46.00
塑性加工金属学(本科教材)	王占学	25.00
稀土永磁材料制备技术(高职高专)	石 富	29.00
工程材料基础(高职高专)	甄丽萍	26.00
机械工程材料(高职高专)	于 钧	32.00
金属学及热处理(高职高专)	孟延军	25.00
一维无机纳米材料	晋传贵	40.00
铝合金无缝管生产原理与工艺	邓小民	60.00

目 录

绪 论	1
-----------	---

第 1 篇 钢铁材料

1 钢铁中的合金相	3
1.1 铁基固溶体	3
1.1.1 使 A_3 温度下降, A_4 温度升高	3
1.1.2 使 A_3 温度升高, A_4 温度下降	4
1.2 合金元素与钢中晶体缺陷的相互作用	7
1.3 钢铁中的碳化物和氮化物	9
1.4 钢中的金属间化合物	11
1.4.1 σ 相	12
1.4.2 AB_2 相 (拉维斯相)	12
1.4.3 AB_3 相 (有序相)	13
1.5 铁碳相图及合金元素的影响	13
1.5.1 铁碳相图	13
1.5.2 合金元素对钢临界点的影响	15
1.5.3 Fe-C-M 三元系	16
2 钢的热处理	18
2.1 钢的加热转变	18
2.1.1 奥氏体形成的热力学条件	18
2.1.2 奥氏体形成的机理	19
2.1.3 奥氏体等温形成动力学	20
2.1.4 奥氏体晶粒长大及其控制	23
2.2 钢的过冷奥氏体转变图	24
2.2.1 过冷奥氏体等温转变图	25
2.2.2 过冷奥氏体连续冷却转变图	28
2.3 钢的珠光体转变	29

2.3.1 珠光体的组织形态与性能特点	29
2.3.2 珠光体转变的机理	32
2.3.3 亚(或过)共析钢的珠光体转变	33
2.3.4 合金元素对珠光体转变的影响	35
2.3.5 钢中碳化物的相同析出	36
2.3.6 钢的退火与正火	37
2.4 钢的马氏体转变	39
2.4.1 马氏体的晶体结构及转变特征	39
2.4.2 马氏体的组织形态与性能特点	42
2.4.3 马氏体转变的动力学特点	45
2.4.4 马氏体转变的热力学条件	47
2.4.5 马氏体转变模型简介	49
2.4.6 奥氏体的稳定化	53
2.4.7 钢的淬火	53
2.5 钢的贝氏体转变	61
2.5.1 贝氏体的组织形态与性能特点	61
2.5.2 贝氏体转变的特点及机理	64
2.5.3 影响贝氏体转变的因素	65
2.6 钢的回火转变	66
2.6.1 淬火钢回火时的组织变化	66
2.6.2 淬火钢回火时力学性能的变化	71
2.6.3 合金元素对淬火钢回火转变的影响	73
2.6.4 钢的回火	74
3 工程结构钢	76
3.1 工程结构钢的合金化	76
3.1.1 工程结构钢的强化	76
3.1.2 铁素体-珠光体组织的冷脆性	78
3.1.3 工程结构钢的焊接性	79
3.1.4 工程结构钢的耐大气腐蚀性能	80
3.2 铁素体-珠光体钢	80
3.2.1 碳素工程结构钢	80
3.2.2 高强度低合金钢	81
3.2.3 微合金钢	82
3.3 低碳贝氏体和马氏体钢	84
3.3.1 低碳贝氏体钢	84

3.3.2 针状铁素体钢	85
3.3.3 低碳马氏体钢	86
3.3.4 双相钢	86
3.4 工程结构钢的冶金工艺特点	88
3.4.1 冶炼工艺	88
3.4.2 控制轧制与控制冷却	89
4 机械制造结构钢	91
4.1 结构钢的强度与脆性	91
4.2 结构钢的淬透性	92
4.3 调质钢	94
4.4 低温回火状态下使用的结构钢	96
4.4.1 低温回火钢的显微组织及力学性能	96
4.4.2 低碳马氏体结构钢	97
4.4.3 低合金超高强度结构钢	98
4.5 高合金超高强度结构钢	100
4.5.1 马氏体时效钢中合金元素的作用	100
4.5.2 马氏体时效钢的热处理和性能	101
4.6 轴承钢	102
4.6.1 轴承钢的冶金质量	103
4.6.2 高碳铬轴承钢的热处理	104
4.7 渗碳钢和氮化钢	105
4.7.1 渗碳钢	105
4.7.2 氮化钢	108
4.8 其他机械制造结构钢	109
4.8.1 非调质结构钢	109
4.8.2 弹簧钢	111
4.8.3 易削钢	111
4.8.4 高锰钢	112
5 工具钢	114
5.1 碳素及低合金工具钢	114
5.2 高速工具钢	115
5.2.1 高速钢中的组成相和碳化物不均匀性	115
5.2.2 高速钢的热处理	117
5.2.3 高速钢中合金元素的作用	120
5.2.4 粉末冶金高速钢	123

5.3 冷作模具钢	123
5.3.1 高铬和中铬模具钢	124
5.3.2 基体钢和低碳高速钢	125
5.3.3 新型冷作模具钢	126
5.4 热作模具钢	127
5.4.1 锤锻模具钢	127
5.4.2 挤压及压铸模具钢	128
6 不锈钢耐蚀钢	131
6.1 钢的耐蚀性	131
6.1.1 钢的钝化现象	131
6.1.2 成分对钢钝化的影响	132
6.1.3 环境对不锈钢耐蚀性的影响	135
6.2 不锈钢耐蚀钢的组织	135
6.3 不锈钢耐蚀钢的腐蚀特性	138
6.3.1 奥氏体不锈钢的晶间腐蚀	138
6.3.2 不锈钢的应力腐蚀	139
6.3.3 不锈钢的点腐蚀	141
6.4 不锈钢的强化与脆化	142
6.4.1 铁素体不锈钢	142
6.4.2 奥氏体不锈钢	143
6.4.3 高强度不锈钢	145
6.4.4 复相不锈钢	145
6.5 不锈钢耐蚀钢钢种	146
7 耐热钢和耐热合金	148
7.1 耐热钢和合金的工作条件及性能	148
7.2 铁素体型耐热钢	149
7.2.1 铁素体-珠光体耐热钢	149
7.2.2 马氏体耐热钢	151
7.3 工业炉用耐热钢	152
7.3.1 铁铝锰系炉用耐热钢	153
7.3.2 铬锰碳氮炉用耐热钢	153
7.3.3 铬镍奥氏体炉用钢	154
7.4 奥氏体型耐热钢	154
7.4.1 碳化物沉淀强化耐热钢	154
7.4.2 金属间化合物沉淀强化耐热钢	155

7.5 镍基耐热合金	158
7.6 新型耐热合金	161
7.6.1 定向凝固耐热合金	161
7.6.2 粉末高温合金	163
7.6.3 氧化物弥散强化(ODS)高温材料	163
8 铸铁	165
8.1 铸铁中石墨的形态控制	165
8.1.1 片状石墨形态	166
8.1.2 球状石墨形态	166
8.1.3 蠕虫状石墨形态	168
8.1.4 团絮状石墨形态	168
8.2 常用的铸铁	168
8.2.1 灰口铸铁	168
8.2.2 球墨铸铁	170
8.2.3 蠕墨铸铁	171
8.2.4 展性铸铁	172
8.3 合金铸铁	173
8.3.1 耐磨合金铸铁	173
8.3.2 耐热合金铸铁	175
8.3.3 耐蚀合金铸铁	175

第 2 篇 非铁金属材料

9 铝合金	177
9.1 铝合金中的合金元素	177
9.1.1 铝基固溶体	177
9.1.2 铝合金中的沉淀强化相	178
9.1.3 铝合金共晶中的过剩相	181
9.1.4 铝合金中的微量合金相	182
9.1.5 铝合金中的微量元素	183
9.2 变形铝合金	183
9.2.1 非热处理强化变形铝合金	184
9.2.2 热处理强化变形铝合金	185
9.2.3 快速凝固铝合金	191
9.2.4 超塑性铝合金	192

9.2.5 烧结铝粉	193
9.3 铸造铝合金	194
9.3.1 铝硅及铝硅镁合金	194
9.3.2 铝铜铸造合金	195
9.3.3 铝镁铸造合金	195
10 镁合金	197
10.1 镁合金中的合金元素	197
10.1.1 镁基固溶体	197
10.1.2 镁合金中的强化相	201
10.1.3 镁合金的强韧化	203
10.2 镁合金	203
10.2.1 变形镁合金	203
10.2.2 铸造镁合金	209
11 铜合金	214
11.1 铜中的合金元素	214
11.1.1 铜基固溶体	214
11.1.2 铜合金中的强化相	215
11.1.3 铜合金的退火硬化	216
11.1.4 铜合金中的马氏体型相变	217
11.2 工业纯铜	218
11.2.1 工业纯铜的性能	218
11.2.2 杂质元素对铜塑性的影响	219
11.2.3 工业纯铜的应用	219
11.2.4 弥散强化铜	219
11.3 黄铜	220
11.3.1 二元黄铜的组织 and 性能	220
11.3.2 多元黄铜	221
11.4 青铜	222
11.4.1 锡青铜	222
11.4.2 多元锡青铜	224
11.4.3 铝青铜	224
11.4.4 铍青铜	225
11.4.5 其他青铜	225
11.5 白铜	226
11.5.1 结构白铜	227

11.5.2 电工白铜	227
12 钛合金	229
12.1 钛的特性及钛冶金基础	229
12.1.1 钛的基本性质	229
12.1.2 钛冶金基础	230
12.2 钛合金物理冶金基础	231
12.2.1 钛合金二元相图	231
12.2.2 主要合金元素与相的形成	232
12.2.3 气体杂质元素的作用	234
12.2.4 钛合金分类	235
12.2.5 钛合金热处理基础	236
12.2.6 钛合金的强韧化基础	238
12.3 钛合金的发展与应用	243
12.4 钛合金的生产工艺	247
12.4.1 熔炼	247
12.4.2 热加工	248
12.4.3 粉末冶金钛合金	249
12.5 钛合金的近期发展	249
12.5.1 改善工艺, 提高质量, 降低成本	249
12.5.2 钛合金的新发展和新应用	250

第 3 篇 金属功能材料

13 磁性合金	255
13.1 金属及合金的磁性	255
13.1.1 物质的磁性起源	255
13.1.2 铁磁性材料特性及相关能量	256
13.1.3 金属及合金的技术磁化	257
13.1.4 磁性材料交流磁化时的损耗	259
13.2 铁基软磁合金	259
13.2.1 工业纯铁	261
13.2.2 Fe-Si 软磁合金	261
13.2.3 其他铁基软磁合金	264
13.3 Fe-Ni 系软磁合金	265
13.3.1 Fe-Ni 合金的基本物理特性	266

13.3.2 典型的 Fe-Ni 系软磁合金	267
13.4 非晶态及纳米晶软磁合金材料	272
13.4.1 非晶态软磁合金	272
13.4.2 纳米晶软磁合金	273
13.5 硬磁合金概述	275
13.6 Alnico 永磁合金	277
13.6.1 磁硬化机理	277
13.6.2 合金成分及制备工艺	278
13.7 稀土永磁	280
13.7.1 合金系相图与晶体结构	281
13.7.2 稀土永磁的磁性	283
13.7.3 1:5 型 RCO_5 永磁合金	285
13.7.4 2:17 型 R_2Co_{17} 永磁合金	286
13.7.5 Nd-Fe-B 永磁	288
13.8 纳米晶多相永磁合金	294
14 电性合金	297
14.1 金属与合金的电学性能	297
14.1.1 一般金属材料的导电性	297
14.1.2 金属材料的超导性	298
14.1.3 材料的热电势	300
14.2 导电合金	301
14.2.1 铝及铝合金	301
14.2.2 铜及其合金	302
14.2.3 复合导电材料	302
14.2.4 超导合金	302
14.3 精密电阻合金	304
14.3.1 Cu-Mn 系合金	304
14.3.2 Cu-Ni 系合金	305
14.3.3 Cr-Ni 系合金	305
14.3.4 Fe-Cr-Al 合金	306
14.3.5 贵金属系合金及其他精密电阻合金	306
14.3.6 非晶态精密电阻合金	306
14.4 电热合金	307
14.4.1 金属电热材料	307

14.4.2 Ni-Cr 系合金	307
14.4.3 Fe-Cr-Al系合金	308
14.5 热电偶合金	309
14.5.1 热电偶电极材料	309
14.5.2 热电偶的使用	311
15 热膨胀、弹性与减振合金	312
15.1 热膨胀合金	312
15.1.1 低膨胀合金	313
15.1.2 定膨胀合金	314
15.1.3 热双金属	316
15.2 弹性合金	317
15.2.1 高弹性合金	318
15.2.2 恒弹性合金	319
15.3 减振合金	322
15.3.1 复相型减振合金	324
15.3.2 铁磁性减振合金	324
15.3.3 位错型减振合金	324
15.3.4 孪晶型减振合金	325
15.3.5 具有形状记忆特性的减振合金	325
16 形状记忆合金	326
16.1 合金的形状记忆效应	326
16.1.1 形状记忆效应的基本原理	327
16.1.2 形状记忆合金的伪弹性	328
16.2 钛镍与铜基形状记忆合金	330
16.3 铁基形状记忆合金	332
16.4 磁控形状记忆合金	333
17 其他功能材料	336
17.1 贮氢合金	336
17.2 超大磁致伸缩合金	338
17.2.1 合金成分对于性能的影响	339
17.2.2 合金制备工艺、组织结构与磁致伸缩性能的关系	340
17.2.3 应力作用对合金磁致伸缩性能的影响	341
17.3 磁阻与磁阻抗合金	342
17.3.1 磁阻材料	342
17.3.2 巨磁阻抗材料	345

17.4 磁蓄冷与磁制冷合金	347
17.4.1 磁蓄冷材料	348
17.4.2 磁制冷材料	349
17.5 生物医学材料	354

第4篇 新型金属材料

18 有序金属间化合物结构材料	355
18.1 金属间化合物的基本结构	356
18.1.1 金属间化合物的晶体结构及缺陷	356
18.1.2 金属间化合物的电子结构与键性	363
18.1.3 金属间化合物的晶界结构	365
18.2 金属间化合物结构材料的基本力学性能特征	367
18.2.1 金属间化合物的屈服强度反常温度关系	368
18.2.2 金属间化合物的本征脆性	373
18.2.3 金属间化合物的室温环境脆性	374
18.3 金属间化合物结构材料的发展	378
18.3.1 Ni-Al系金属间化合物合金	379
18.3.2 Fe-Al系富铁金属间化合物	381
18.3.3 Ti-Al系金属间化合物合金	382
18.3.4 其他金属间化合物结构合金研究	385
19 金属基复合材料	388
19.1 金属基复合材料体系选择	388
19.1.1 基体材料	388
19.1.2 增强体材料	390
19.2 金属基复合材料性能设计	393
19.2.1 连续纤维增强金属基复合材料的强度	393
19.2.2 非连续金属基复合材料的强度	394
19.2.3 颗粒增强金属基复合材料的强度	394
19.3 金属基复合材料的界面	395
19.3.1 金属基复合材料的界面化学	395
19.3.2 纤维覆盖层	397
19.4 金属基复合材料的强化与断裂	398
19.4.1 金属基复合材料的强化	398

19.4.2	金属基复合材料的断裂	399
19.4.3	金属基复合材料的磨损	403
19.4.4	金属基复合材料的蠕变特点	403
19.5	金属基复合材料的制造工艺	404
19.5.1	液相工艺	404
19.5.2	固相工艺	406
19.5.3	金属基复合材料的加工	407
19.6	金属基复合材料的工程性能和应用	407
19.6.1	铝基复合材料	408
19.6.2	镁基复合材料	415
19.6.3	钛基复合材料	416
20	金属玻璃	418
20.1	金属玻璃的形成	418
20.1.1	金属玻璃形成热力学	419
20.1.2	非晶形成动力学	420
20.1.3	玻璃形成能力判据	421
20.2	金属玻璃的制备方法	423
20.2.1	快淬和平流铸造技术	423
20.2.2	净化和深过冷技术	424
20.2.3	粉末法	424
20.2.4	金属模铸造法	425
20.2.5	水淬法	426
20.2.6	喷铸吸铸法	426
20.2.7	电弧熔炼吸铸法	426
20.2.8	定向凝固法	426
20.2.9	压铸法	427
20.3	金属玻璃体系	427
20.3.1	Pd 基合金系	428
20.3.2	Mg 基合金系	428
20.3.3	稀土基合金系	428
20.3.4	La 基合金	428
20.3.5	Nd 基和 Pr 基合金	428
20.3.6	Ce 基及其他稀土基合金	429

20.3.7 Ti 基合金系	429
20.3.8 Fe 基合金系	429
20.3.9 Cu 基块合金系	430
20.3.10 Ni 基金属玻璃合金系	430
20.3.11 Zr 基合金系	431
20.3.12 Al 基合金系	431
20.4 金属玻璃的性能及应用	432
20.4.1 高性能结构材料	432
20.4.2 微型精密器件	434