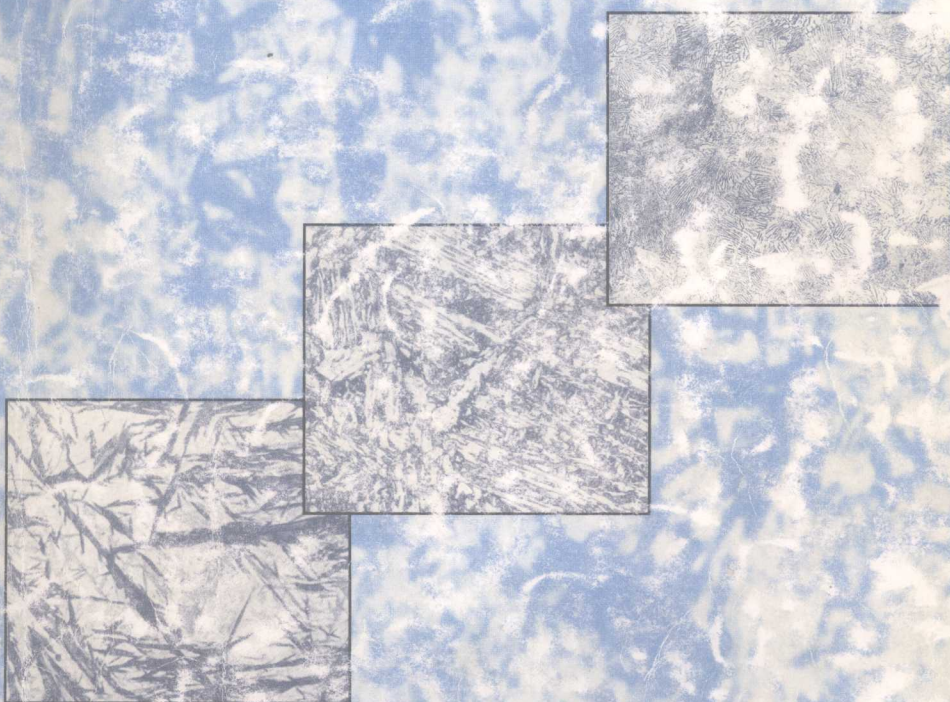


材料科学基础

CAILIAO KEXUE JICHU

马泗春 主编



材料科学基础

马泗春 主 编

肖寅昕 副主编 崔占全 主 审

科学技术出版社

(陕)新登字 002 号

内容提要

本书全面系统地介绍了晶体学基础知识,金属与合金的凝固理论和合金相图,金属与合金的形变理论与再结晶,固态金属中扩散和固态相变,为材料冶炼熔铸、冷热成型加工提供了工艺理论和强化原理。书中还介绍了合金钢和铸铁,有色金属合金与粉末冶金材料,高分子材料、陶瓷材料、复合材料等工程材料的成份、组织结构、性能和用途,为选择材料和强化工艺提供了完整的技术资料,每章后备有习题。

本书适用于金属材料、材料成型工艺、粉末和火法冶金等各类专业使用,也是其它专业师生和专职工程技术人员一本参考书。

审主 金吉崑 總主編 祁賓賓



材料科学基础

马泗春 主 编

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街 131 号)

西安理工大学印刷厂印刷

787 毫米×1092 毫米 1/16 开本 25 印张 63.5 千字

1998 年 10 月第 1 版 1998 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—2500

ISBN 7-5369-2948-X/T·24

定价:28.80 元

并 湖 出 本 技 学 研 究

前 言

本教材是机械工业部部属院校《机械工程材料》与《金属学及热处理》课程协作组第八届课程协作会议决定编写的。其目的是为适应我国高等教育改革形势下的教学需要。我国高等教育改革在人才培养模式上,正朝着加强基础,拓宽专业、提高能力的方向发展,按系设置宽口径专业已是国内高校的一种发展潮流。因而按原设的专业及相应的课程体系,教学内容,已无法满足人才培养的需要。更新教学内容、优化课程体系,反映最新科技成果,实现多学科知识的交叉与渗透,是课程体系和教学内容改革所面临的新任务。为此本着改革愿望和实际需求编写了供材料及成型加工和冶金类各专业使用的《材料科学基础》。为加强基础本书具有系统而又完整的物理冶金原理,能为材料及成型加工和冶金类各专业奠定坚实的工艺理论基础,增强对专业变动的适应能力;拓宽工程材料范围,变单一的金属材料为非金属材料、高分子材料、复合材料并举,反映了工程材料全貌;同时还增加了粉末冶金方法及制品,表面工程技术等内容,并适当地介绍了一些新材料、新工艺、新技术,力求为学生提供一本信息量大,便于自学的教材是编者的真诚愿望。同时也能作为其它专业学生和工程技术人员有益的参考书。

参加本书编写的有:清华大学吴运新、王昆林(一、二章),西安理工大学马泗春(绪论、三、四、五章),谷臣清(十一章),中南工业大学刘锦文(六章),刘维镐(十三、十四章),广东工业大学肖寅昕(七、八章),西安工业学院张蔚宁(九、十章),燕山大学张芝安(十二章),仵凤清(十五章)。全书由马泗春任主编、肖寅昕副主编,燕山大学崔占全主审。此外,西安理工大学林建生教授参加了全书审稿工作,并提出许多宝贵意见,葛利铃工程师还为本书提供了金相照片,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,错误和不妥之处在所难免,欢迎同行和读者指正。

编 者

1998 年 3 月

绪论

一、材料在国民经济中的地位和作用

材料是制造生产工具的物质,是劳动力发展水平的标志。历史学家常以材料来划分不同的时代,如石器时代、青铜器时代、铁器时代以及今天正处人工合成材料时代向机敏、智能材料时代的转变。因为生产工具发展的水平是人类控制自然的尺度。譬如人类从钻木取火、煤油灯照明至核能发电;从人力车、马车到宇宙飞船;从弓箭、火炮到巡航导弹,今天人们登天揽月,呼风唤雨,改造自然的能力如此之大,充份反映制造生产工具的材料所发挥的重要作用。因为生产工具发展的水平也是衡量科学技术发展的高度。18世纪60年代由于蒸汽机的出现,引发了以蒸汽为动力的工业机械化;19世纪70年代由于电磁场理论的发展,发电机、电动机的大量被采用,出现了以电为动力的工业电气化;20世纪中叶由于大规模集成电路和计算机技术的发展,带动了高度信息的工业自动化,如果没有钢铁材料、有色金属材料以及非晶、微晶、陶瓷等人工合成材料提供的物质保证,这一切都是不可能的。科学技术发展的足迹时刻记录着材料所做出的卓越贡献。

材料是人类赖以生存的物质基础,人们日常生活所用的各种物品无不用材料制成的,收录机、彩电、空调、冰箱乃至卫生间洗浴器皿与上下水道概莫能外。而国民经济各部门在从事物质生产时又无不以材料为工具和加工的原料。实现农业机械化、电气化、工厂化都需以材料为基础;实现国防兵器的高、精、尖,侦察指挥的灵、广、准,后勤保障的稳、快、牢也必须以材料为后盾;发展与创造新的科学技术也必须以材料为先导,正因为出现了声、光、电、磁、热等功能材料,才使得有“电脑”、“电耳”、“电鼻”、“电眼”等的智能机器人诞生。如今人们已将材料工程、信息工程、能源工程誉为未来科技发展的三大支柱,可以预见,二十一世纪将是机敏智能材料的新时代。

二、工程材料及其分类

工程材料是指具有一定的性能,在特定条件下能够承担某种功能,被用来制取零件和元件的材料。与消耗材料自身而完成某种功能的燃油、煤炭等能源和化工原料有原则区别。工程材料种类繁多,80年代在西方国家注册的材料有36万余种,而且每年以5%的速度递增着。为便于材料的生产、管理和使用,通常将工程材料分类为:

1. 按材料的化学组成分类:金属材料、无机非金属材料和高分子材料。

金属材料有黑色金属与有色金属之分,钢和铸铁称为黑色金属,除此之外的金属的合金均称之为有色金属材料。有色金属通常又分为轻金属(Al、Li、Be、Mg等),重金属(Cu、Sn、Pb、Zn等),贵金属(Au、Ag、At等),类金属(Ga、Ge、As、Sb等),稀有金属(Ti、Zr、Hf、Ta以及稀土元

目 录

第 1 篇 晶体学基础

绪论	1
第1章 纯金属的晶体结构	1
1.1 金属的概念	1
1.1.1 金属的定义	1
1.1.2 金属原子的结构特点	1
1.1.3 金属原子的键合方式	2
1.1.4 金属原子间的结合力与结合能	2
1.2 金属的晶体性	3
1.2.1 晶体的特性	3
1.2.2 空间点阵	4
1.2.3 晶体、晶系与布拉菲格子	4
1.2.4 晶向指数与晶面指数	5
1.3 典型金属的晶体结构	8
1.3.1 晶胞原子数	9
1.3.2 原子半径	10
1.3.3 配位数	10
1.3.4 致密度	10
1.3.5 晶胞中的间隙	11
1.3.6 原子堆垛方式	12
1.4 其它金属的晶体结构	13
1.4.1 亚金属的晶体结构	13
1.4.2 钢系金属的晶体结构	13
1.4.3 多晶型性	15
1.5 点缺陷	15
1.5.1 空位	16
1.5.2 间隙原子	16
1.5.3 置换原子	17

1.5.4	点缺陷的平衡浓度	17
1.5.5	点缺陷的运动	17
1.6	位错	17
1.6.1	位错类型	17
1.6.2	柏氏矢量与柏氏回路	19
1.6.3	柏氏矢量的性质与表示方法	21
1.6.4	位错密度	21
1.6.5	位错运动	22
1.7	面缺陷	23
1.7.1	自由表面	23
1.7.2	晶界	24
1.7.3	孪晶界	26
1.7.4	相界	26
1.7.5	层错	27
	习题	27
第2章	合金相结构	28
2.1	固溶体	28
2.1.1	置换固溶体	29
2.1.2	间隙固溶体	31
2.1.3	有序固溶体及固溶体微观不均匀性	32
2.1.4	固溶体性能特点	33
2.2	中间相	34
2.2.1	正常价化合物	34
2.2.2	电子化合物	35
2.2.3	间隙相与间隙化合物	37
2.2.4	拓扑密堆相	38
	习题	39
第2篇 凝固理论及应用		
第3章	金属的结晶	40
3.1	金属结晶的基本条件	40
3.1.1	金属结晶的过冷现象	40
3.1.2	金属结晶的热力学条件	40
3.1.3	结晶过程的一般规律	42
3.1.4	金属结晶的结构条件	42
3.2	形核	42
3.2.1	均匀形核	42

3.2.2	非均匀形核	45
3.3	晶核长大	48
3.3.1	晶核长大条件	48
3.3.2	液固界面结构	48
3.3.3	晶体长大方式	50
3.3.4	晶体长大形态	51
3.3.5	长大速度	52
3.4	结晶理论实际应用	53
3.4.1	细化晶粒	53
3.4.2	铸锭的组织控制	54
3.5	急冷凝固技术	56
3.5.1	非晶态合金	56
3.5.2	微晶合金	57
3.5.3	准晶态合金	58
	习题	59
第4章	金属的结晶	60
4.1	二元合金相图与合金凝固	60
4.1	概述	60
4.1.1	二元合金相图的表示方法	60
4.1.2	二元合金相图的测定	60
4.1.3	相律	61
4.1.4	杠杆定理	62
4.2	匀晶相图及固溶体合金结晶	62
4.2.1	匀晶相图分析	62
4.2.2	固溶体合金的平衡结晶过程	63
4.2.3	固溶体合金的非平衡结晶及枝晶偏析	64
4.2.4	固溶体合金的非平衡结晶与宏观偏析	65
4.2.5	固溶体合金的成份过冷与晶体形态	68
4.3	共晶相图及共晶合金结晶	71
4.3.1	共晶相图分析	71
4.3.2	合金的平衡结晶过程	71
4.3.3	共晶合金的非平衡结晶	73
4.3.4	共晶与初晶的组织形貌	75
4.4	包晶相图	78
4.4.1	包晶相图分析	78
4.4.2	合金的平衡结晶过程	79
4.4.3	包晶系合金的非平衡结晶	81
4.4.4	包晶转变在生产中的应用	81
4.5	其它类型二元合金相图	82

31	4.5.1 具有其它三相平衡转变的二元相图	82
81	4.5.2 两组元形成化合物时二元相图	83
81	4.5.3 具有磁性转变和有序转变的二元相图	84
81	4.6 二元合金相图的基本方法	84
02	4.6.1 分析相图的基本方法	84
12	4.6.2 利用相图可判断合金的热处理类型	86
53	4.6.3 利用相图可判断合金的性能	86
23	4.7 合金热力学对相图的解释	87
63	4.7.1 自由焓——成份曲线	87
12	4.7.2 公切线法则	88
23	4.7.3 用自由焓——成份曲线绘制相图	89
02	习题	89
77	第5章 铁碳合金相图	91
82	5.1 铁碳合金的组元和基本相	91
02	5.1.1 铁碳合金的组元	91
02	5.1.2 铁碳合金中的基本相	91
02	5.2 铁碳合金相图分析	92
02	5.2.1 相图中特性点	92
02	5.2.2 相图中特性线	93
02	5.3 铁碳合金平衡结晶过程	94
12	5.3.1 工业纯铁的平衡结晶过程	95
52	5.3.2 共析钢的平衡结晶过程	95
52	5.3.3 亚共析钢的平衡结晶过程	97
52	5.3.4 过共析钢的平衡结晶过程	98
22	5.3.5 共晶合金的平衡结晶过程	99
12	5.3.6 亚共晶白口铁的平衡结晶过程	100
22	5.3.7 过共晶白口铁的平衡结晶过程	101
82	5.4 碳对铁碳合金的平衡组织与性能影响	101
17	5.5 钢中杂质对钢组织和性能的影响	103
17	5.5.1 硅、锰对钢的组织 and 性能的影响	104
17	5.5.2 硫和磷对钢的组织 and 性能的影响	104
27	5.5.3 氢、氮、氧对钢的组织 and 性能的影响	105
27	5.6 钢锭的组织 and 缺陷	106
87	5.6.1 镇静钢锭的组织 and 缺陷	106
87	5.6.2 沸腾钢锭的组织 and 缺陷	107
07	习题	108
18	第6章 三元合金相图	109
18	6.1 三元相图的基本知识	109
58	6.1.1 概述	109

6.1.2	三元相图成份表示法	109
6.1.3	杠杆定律	110
6.1.4	重心法则	111
6.2	三元匀晶相图	111
6.2.1	相图空间结构	111
6.2.2	合金凝固过程及组织	111
6.2.3	等温截面(水平截面)	111
6.2.4	等温线投影图	113
6.2.5	变温截面(垂直截面)	113
6.3	固态下互不溶解的三元共晶相图	114
6.3.1	相图空间结构	114
6.3.2	投影图及合金结晶过程	115
6.4	固态下有限溶解的三元共晶相图	116
6.4.1	相图空间结构	116
6.4.2	三元共晶系的空间投影图	118
6.4.3	合金结晶过程及组织	118
6.4.4	变温截面(垂直截面)	121
6.4.5	等温截面(水平截面)	122
6.5	三元包共晶相图	123
6.5.1	相图的空间结构	123
6.5.2	包共晶系投影图及结晶过程分析	124
6.5.3	等温截面(水平截面)	125
6.5.4	变温截面(垂直截面)	126
6.6	三元相图中三相平衡与四相平衡	127
6.6.1	三相平衡	127
6.6.2	四相平衡	128
6.7	三元相图实例分析	130
6.7.1	变温截面(Fe—Cr—C系)	130
6.7.2	等温截面(Fe—Cr—C系)	131
6.7.3	液相面投影图(Al—Cu—Mg系)	132
6.7.4	固溶度面投影图(Al—Mg—Si系)	133
	习题	134

第3篇 形变理论及其应用

第7章	金属与合金的塑性变形	138
7.1	应力——应变曲线	138
7.1.1	工程应力——应变曲线	138

001	7.1.2 真应力——应变曲线	139
011	7.1.3 弹性变形	140
111	7.2 单晶体的塑性变形	141
111	7.2.1 滑移	141
111	7.2.2 滑移的位错机制	147
111	7.2.3 孪生	148
111	7.3 位错在塑性变形中的行为	150
811	7.3.1 位错的交截	150
811	7.3.2 位错的增殖	152
111	7.3.3 位错的塞积	153
111	7.4 多晶体的塑性变形	154
811	7.4.1 多晶体塑性变形特点	154
811	7.4.2 晶粒大小对机械性能的影响	154
011	7.5 合金的塑性变形	155
811	7.5.1 单相固溶体合金的塑性变形	155
811	7.5.2 多相合金的塑性变形	157
181	7.6 塑性变形对金属组织和性能的影响	159
881	7.6.1 组织结构的变化	159
881	7.6.2 性能变化	160
881	7.6.3 残留应力	161
481	7.6.4 变形结构	161
881	7.7 金属的断裂	162
881	7.7.1 断口形态	162
781	7.7.2 影响金属材料断裂性质的基本因素	164
781	7.7.3 断裂韧性	165
881	习题	167
06	第8章 回复与再结晶	169
081	8.1 变形金属在加热时的变化	169
181	8.1.1 显微组织和性能的变化	169
881	8.1.2 加热过程中能量释放的情况	170
881	8.2 回复	170
161	8.2.1 回复动力学	171
	8.2.2 回复的机理	171
	8.2.3 回复以后金属性能的变化	172
	8.3 再结晶	173
	8.3.1 再结晶晶核形成与长大	173
881	8.3.2 再结晶温度及其影响因素	174
881	8.4 晶粒长大	176
881	8.4.1 晶粒正常长大	176

8.4.2 晶粒异常长大——二次再结晶	178
8.5 再结晶退火后组织与性能	179
8.5.1 再结晶全图	179
8.5.2 再结晶组织	180
8.5.3 退火孪晶	180
8.6 金属的热加工	181
8.6.1 动态回复与动态再结晶	182
8.6.2 热加工后的组织与性能	183
8.7 超塑性加工	183
8.7.1 超塑性的表示	184
8.7.2 影响超塑性的因素	184
8.7.3 超塑性变形后组织变化	185
8.7.4 超塑性变形的机制	186
习题	186

第 4 篇 固态相变理论及应用

第 9 章 固态金属中的扩散	187
9.1 概述	187
9.1.1 扩散的驱动力	187
9.1.2 扩散的微观机制及扩散激活能	188
9.1.3 扩散系数	189
9.1.4 固态扩散的分类	190
9.2 扩散定律	190
9.2.1 扩散第一定律	190
9.2.2 扩散第二定律	192
9.3 影响扩散的因素	192
9.3.1 温度的影响	192
9.3.2 晶体结构的影响	192
9.3.3 固溶体类型对扩散的影响	192
9.3.4 固溶体浓度对扩散的影响	193
9.3.5 晶体缺陷对扩散的影响	193
9.3.6 化学成份对扩散的影响	193
习题	194
第 10 章 热处理原理与工艺	194
10.1 概述	194
10.1.1 热处理的分类	194
10.1.2 钢的临界温度	194

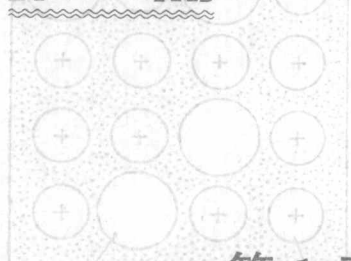
851	10.2 钢的加热转变	195
871	10.2.1 奥氏体的形成	195
871	10.2.2 奥氏体晶粒长大及其控制	197
871	10.3 钢的冷却转变	199
881	10.3.1 过冷奥氏体的等温转变	199
881	10.3.2 过冷奥氏体的连续转变(CCT图)	206
181	10.3.3 IT图与CCT图的比较与应用	206
881	10.4 钢的退火与正火	207
881	10.4.1 珠光体转变过程及影响因素	207
881	10.4.2 退火工艺	208
181	10.4.3 正火正艺	210
181	10.5 钢的淬火	211
881	10.5.1 马氏体转变的动力学特点	211
881	10.5.2 影响马氏体转变的因素	212
	10.5.3 钢的淬火工艺	213
	10.5.4 淬火缺陷及防止	217
	10.5.5 贝氏体转变	219
	10.6 钢的淬透性	223
781	10.6.1 淬透性的概念	223
781	10.6.2 淬硬层深度的确定	223
781	10.6.3 影响淬透性的因素	224
781	10.6.4 淬透性的测定方法	224
881	10.6.5 淬透性曲线的应用	226
881	10.7 钢的回火	229
001	10.7.1 钢在回火时的组织变化	229
001	10.7.2 淬火钢回火后的组织与性能变化	230
001	10.7.3 回火工艺	230
881	10.7.4 回火脆性	232
881	10.8 钢的表面热处理	233
881	10.8.1 感应加热表面热处理	233
881	10.8.2 火焰加热表面热处理	234
881	10.8.3 激光加热表面热处理	234
881	10.8.4 电子束加热表面热处理	235
881	10.9 钢的化学热处理	236
881	10.9.1 化学热处理概述	236
881	10.9.2 钢的渗碳	237
181	10.9.3 钢的氮化	240
181	10.9.4 钢的碳氮共渗	241
181	10.9.5 钢的渗硼	242

10.9.6 钢的渗铝	243
10.10 表面热处理新技术	244
10.10.1 热喷涂技术	244
10.10.2 气相沉积技术	246
10.10.3 离子注入	247
10.10.4 化学镀	248
习题	248
第 5 篇 工程材料	
第 11 章 工业用钢	251
11.1 概述	251
11.2 钢的分类及编号	251
11.2.1 钢的分类	251
11.2.2 钢的编号	252
11.3 合金元素在钢中的作用	253
11.3.1 合金元素与铁和碳的相互作用	253
11.3.2 合金元素在钢中的分布	256
11.3.3 合金元素对钢的相变的影响	256
11.4 工程构件用钢	260
11.4.1 工程构件用钢的性能要求	260
11.4.2 工程构件用钢的合金化	260
11.4.3 常用工程构件用钢	260
11.5 机器零件用钢	262
11.5.1 机器零件用钢的性能及合金化特点	263
11.5.2 常用机器零件用钢	263
11.6 工具钢	271
11.6.1 刃具钢	272
11.6.2 量具钢	278
11.6.3 模具钢	279
11.7 特殊钢	282
11.7.1 不锈钢	282
11.7.2 耐热钢	287
11.7.3 耐磨钢	293
习题	294
第 12 章 铸铁	296
12.1 概论	296
12.1.1 铸铁组织与性能特点	296

12.1.2 铸铁的石墨化	296
12.1.3 铸铁的分类	298
12.2 常用铸铁	299
12.2.1 灰口铸铁	299
12.2.2 可锻铸铁	302
12.2.3 球墨铸铁	304
12.2.4 蠕墨铸铁	308
12.3 合金铸铁	309
12.3.1 耐磨铸铁	309
12.3.2 耐蚀铸铁	310
习题	311
第13章 有色金属及其合金	312
13.1 铝及铝合金	312
13.1.1 纯铝	312
13.1.2 铝的合金化及强化途径	313
13.1.3 铝合金的分类	314
13.1.4 变形铝合金	314
13.1.5 铸造铝合金	322
13.2 铜及铜合金	324
13.2.1 纯铜	324
13.2.2 铜的合金化及强化方法	325
13.2.3 黄铜	325
13.2.4 青铜	329
13.2.5 白铜	331
13.3 钛及钛合金	333
13.3.1 纯钛	333
13.3.2 钛的合金化	333
13.3.3 工业钛合金	333
13.3.4 钛合金的热处理	334
13.4 轴承合金	336
13.4.1 轴承合金性能要求	336
13.4.2 锡基轴承合金	337
13.4.3 铅基轴承合金	338
13.4.4 铜基轴承合金	338
13.4.5 铝基轴承合金	339
习题	341
第14章 粉末冶金材料	342
14.1 粉末冶金原理和生产过程	342
14.1.1 粉末的制取	342

14.1.2 压制成型	343
14.1.3 烧结	343
14.1.4 烧结后处理	343
14.2 结构材料	343
14.2.1 制造零件用的结构材料	344
14.2.2 减摩材料	345
14.2.3 摩擦材料	346
14.2.4 多孔材料	347
14.3 工具材料	347
14.3.1 硬质合金	349
14.3.2 超硬材料	350
14.3.3 粉末高速钢	350
14.4 其它粉末冶金材料	350
14.4.1 耐热材料	352
14.4.2 电磁材料	353
14.4.3 原子能工程材料	354
习题	355
第15章 非金属机械工程材料	355
15.1 高分子材料	355
15.1.1 高分子材料的基本概念	357
15.1.2 高分子化合物的结构与性能	366
15.1.3 工程塑料	370
15.2 工程陶瓷材料	371
15.2.1 陶瓷材料的物质结构与显微组织	375
15.2.2 陶瓷材料的制作工艺及分类	377
15.2.3 陶瓷材料的性能及应用	379
15.3 复合材料	379
15.3.1 复合材料的分类及命名	380
15.3.2 复合材料的增强机制	381
15.3.3 复合材料的性能特点	382
15.3.4 常用复合材料	388
15.3.5 未来材料发展方向	389
习题	390
参考文献	

第1篇



第1章 纯金属的晶体结构

晶体学基础

金属材料(纯金属和合金)在固态下通常都是晶体,即它们的原子(分子或离子)在物质内部是按一定规则呈周期性重复排列。金属材料的各种性能,都与金属晶体中原子的结合方式(结合键)和原子规则排列的方式(晶体结构)等有关。因此金属材料的晶体结构知识是材料科学的基础,故本章首先介绍纯金属的晶体结构。

§ 1.1 金属的概念

1.1.1 金属的定义

在目前已知的 109 种元素中,有 87 种是金属。所谓金属就是在固态下具有以下特征的物质:(1)良好的导电性和导热性;(2)正的电阻温度系数,即电阻随温度升高而增大。约有 30 种金属具有超导性,即在温度接近绝对零度时其电阻突然下降至趋近于零。非金属则与此相反;(3)良好的反射能力、不透明性和金属光泽;(4)良好的塑性变形能力,等等。固态金属区别于非金属的这些特性都是由金属原子的结构特点和金属原子间结合的方式所决定的。

1.1.2 金属原子的结构特点

根据原子结构理论,原子是由带正电的原子核和带负电的核外电子组成的。每个电子都处在原子核外的一定“轨道”上高速运动着,并按能级不同由低到高分层排列。最外层电子的能量高、与原子核结合弱,在化学反应中易脱离原子核而成为自由电子,通常称之为价电子。

金属原子的结构具有两个特点:(1)最外层电子数很少(一般为 1~2 个,最多不超过 4 个),而且与原子核的结合力很弱。因此,金属原子容易丢失其外层电子而成正离子。非金属原子的结构则与之相反,其外层电子数较多(一般 5~8 个),易获得电子而成为负离子。(2)过渡族金属元素,如钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍、钨、钼等,其原子结构除具有上述特点外,还有一个未填满的次外电子层。因此,过渡族金属的原子不仅容易丢失最外层电子,而且容易丢失次外层的 1~2 个电子,从而造成过渡族金属的化合价可变的现象。当过渡族金属原子互相结合时,其最外层电子和次外层电子都可参与结合,因此原子间结合力特别强,宏观上表现为过渡族金属熔点高,强度高等特点。