

高技术新材料 使用性能导论

Introduction to performance of high-tech
advanced materials

周瑞发 韩雅芳 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高技术新材料 使用性能导论

Introduction to performance of high-tech
advanced materials

周瑞发 韩雅芳 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

高技术新材料使用性能导论/周瑞发,韩雅芳编著.
北京:国防工业出版社,2009.4
ISBN 978-7-118-06141-3

I. 高... II. ①周...②韩... III. 高技术-材料科学-性能 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 024857 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 26½ 字数 483 千字

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 85.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

新材料的应用是高技术发展的物质基础,使用性能是材料在使用状态下表现出的行为,是工程应用优化设计的依据,是决定结构或功能型产品的可靠性、耐用性、寿命等技术性能指标。使用性能是在基础科学指导下,经材料成分与结构设计、合成与制备、性能检测与表征、实际应用考核确定的关键数据,是新材料发展以适应高技术应用性能要求的目标,日显其重要地位与作用,受到广泛关注。

本书编著的目的是适应高新技术发展对各类结构与功能新材料的需求,指导和加强新材料对使用性能的研究,推动其测试和表征技术的发展,提供符合使用要求的性能数据。本书是作者在广泛收集国内外相关文献、著作、资料基础上,结合应用研究的实践经验,进行科学归纳、理论分析、全面整理总结而成的。是目前内容较全面、新颖、系统、扼要介绍材料使用性能的专著。

本书共分 16 章,包括绪论、传统结构材料、复合结构材料、金属功能材料、功能高分子及其复合材料、功能陶瓷、磁性材料、半导体材料、薄膜材料、光学材料、电子和光电子材料、智能材料、高技术新材料、生物医用材料、材料的环境特性、新能源材料的使用性能。分别系统扼要叙述各类材料的种类、应用背景、一般特性及其典型新材料的使用性能。重点论述新材料在不同使用环境条件下对性能的要求,通过实例,从材料基本性质、应用原理出发,结合应用实际,对使用性能参量进行诠释,给出通过试验获取的数据及其表征方程。具有专业内容广、知识面宽、突出选材应用,论述深入浅出,图文并茂,内容新颖,数据量大等特点,是新材料研制、生产、设计与应用的重要参考资料。可用作从事新材料科研、生产、设计与应用、管理、教学等专业人员的参考资料和高等院校专业教材。

本书在编写过程中参阅了大量的资料,在此对提供资料,给予帮助的学友、同事们表示诚挚的感谢。

本书出版之际,特别感谢才鸿年院士的指导,对国防科技图书出版基金的资助深表谢意。

本书涉及学科广泛,作者尽管亲历一些结构、功能新材料的应用研究,参与主

持论证、评审诸多结构、功能新材料应用课题和应用成果,多年积累新材料应用性能研究资料与经验,终因学识有限,错误缺点在所难免。如有错误唯作者是负,并请读者视作参考,给予谅解,不吝赐正,是为至幸。

作者谨识

2008年12月30日

目 录

第1章 绪论	1
1.1 材料科学与工程四要素	1
1.1.1 材料科学与工程的定义	1
1.1.2 材料科学与工程的内涵	1
1.2 传统材料的地位与发展	2
1.2.1 传统材料的地位	2
1.2.2 传统材料的发展趋势	2
1.3 新材料的发展趋势	2
1.3.1 新材料与发展高技术的关系	2
1.3.2 新材料的发展趋势	3
1.4 材料的特点与分类	3
1.4.1 结构材料的特点与分类	3
1.4.2 功能材料的特点与分类	5
1.5 材料的结构、组织和性能的关系	6
1.5.1 材料性能对结构和组织的敏感性	6
1.5.2 金属材料结构和组织与性能的关系	6
1.5.3 高分子材料结构和组织与性能关系	7
1.5.4 陶瓷材料的结构与性能关系	7
1.5.5 复合材料的组成、几何排列与性能关系	8
1.6 材料设计的范围与目标	9
1.6.1 材料设计的范围	9
1.6.2 材料设计的目标	9
参考文献	10
第2章 传统结构材料的性能	11
2.1 结构材料的主要性能	11
2.1.1 结构材料的典型性能	11
2.1.2 持久、蠕变性能	14
2.1.3 疲劳与断裂性能	16

2.1.4	腐蚀、氧化与防护	20
2.2	高分子材料的结构性能	24
2.2.1	高分子结构材料的特性与类型	24
2.2.2	高分子结构材料的性能	24
2.2.3	高性能工程塑料的主要性能	25
2.3	高温合金的使用性能	26
2.3.1	燃烧室用合金的性能	26
2.3.2	涡轮叶片用合金的性能	27
2.3.3	涡轮盘用合金的性能	28
2.3.4	增压涡轮用合金的性能	29
2.4	陶瓷材料的结构性能	29
2.4.1	结构陶瓷的特性与应用准则	29
2.4.2	结构陶瓷的主要使用性能	30
	参考文献	31
第3章	复合结构材料的性能	32
3.1	复合材料的种类、特性与法则	32
3.1.1	混合法则	32
3.1.2	混杂效应	32
3.1.3	结构设计特性	33
3.1.4	界面结构与性能	33
3.2	不同基体复合材料的特性	33
3.2.1	树脂基复合材料的性能	33
3.2.2	金属基复合材料的性能	34
3.2.3	陶瓷基复合材料的性能	36
3.3	C/C复合材料的性能	38
3.3.1	C/C复合材料的力学性能	39
3.3.2	摩擦、磨损性能	39
3.3.3	抗烧蚀性能	41
3.3.4	抗热震性能	42
3.3.5	高温蠕变性能	43
3.3.6	抗氧化性能	46
	参考文献	47
第4章	金属功能材料的性能	48
4.1	弹性合金的性能	48
4.1.1	弹性合金的特性与种类	48

4.1.2 弹性合金的性能表征	49
4.2 膨胀合金的性能	51
4.2.1 膨胀合金的特性与种类	51
4.2.2 膨胀合金的性能表征	52
4.3 电阻合金的性能	53
4.3.1 电阻合金的特性与种类	54
4.3.2 电阻合金的性能表征	54
4.4 贮氢、抗氢材料的性能	56
4.4.1 贮氢材料的性能	56
4.4.2 抗氢合金的性能	60
4.5 贵金属功能材料的性能	61
4.5.1 电接触材料的性能	61
4.5.2 精密电阻材料的性能	64
4.5.3 测温材料的性能	65
4.5.4 电阻应变材料的性能	66
参考文献	67
第5章 功能高分子及其复合材料的性能	68
5.1 功能高分子材料的定义、分类、特点	68
5.1.1 功能高分子材料的定义	68
5.1.2 功能高分子材料的分类	68
5.1.3 功能高分子材料的特点	68
5.2 导电高分子材料的性能	69
5.2.1 导电高分子材料导电机理与分类	69
5.2.2 导电高分子材料的性能与应用	69
5.3 电绝缘高分子材料的性能	72
5.3.1 电绝缘高分子材料的特性与分类	72
5.3.2 电绝缘高分子材料的性能与应用	73
5.4 压电和热电高分子材料的性能	75
5.4.1 压电和热电高分子材料的特性与分类	75
5.4.2 压电和热电高分子材料的性能	75
5.4.3 压电和热电高分子材料的应用	77
5.5 感光高分子材料的性能	78
5.5.1 感光高分子材料的种类与应用范围	78
5.5.2 感光高分子材料的性能	79
5.6 特殊功能高分子材料的性能	80

5.6.1	密封材料的种类与特性	80
5.6.2	胶黏剂的种类与特性	81
5.6.3	抗声纳复合材料的性能	82
5.6.4	磁性高分子材料性能	82
	参考文献	83
第6章	功能陶瓷材料的性能	84
6.1	功能陶瓷材料的定义、分类和要求	84
6.1.1	功能陶瓷材料的定义	84
6.1.2	功能陶瓷材料的分类	84
6.1.3	功能陶瓷的一般要求	84
6.2	功能陶瓷材料的物性、安全和寿命	84
6.2.1	功能陶瓷的物性	84
6.2.2	功能陶瓷的安全和寿命	85
6.2.3	功能陶瓷的物化性能	85
6.3	不同功能陶瓷材料的性能	90
6.3.1	绝缘陶瓷的性能	90
6.3.2	介电铁电陶瓷的性能	92
6.3.3	压电陶瓷的性能	97
6.3.4	热释电陶瓷的性能	101
6.3.5	敏感陶瓷的性能	102
	参考文献	108
第7章	磁性材料的性能	109
7.1	物质的磁性	109
7.1.1	交换作用	109
7.1.2	抗磁性	110
7.1.3	顺磁性	110
7.1.4	强磁性	111
7.1.5	反铁磁性	112
7.2	物质的磁性效应	112
7.2.1	磁致伸缩效应	113
7.2.2	典型磁效应	113
7.2.3	磁热效应	114
7.2.4	其他磁效应	115
7.3	磁各向异性	115
7.3.1	磁晶各向异性	115

7.3.2	形状各向异性	115
7.3.3	感生单轴各向异性	116
7.3.4	应力各向异性	116
7.4	磁能与磁畴	116
7.4.1	静磁能	116
7.4.2	磁畴与磁壁	117
7.4.3	磁化与磁化能	118
7.5	磁性测量与表征参量	120
7.5.1	磁性测量	120
7.5.2	主要磁性参量	121
7.5.3	磁性参量关系式	121
7.6	磁性材料的性能	122
7.6.1	各类磁性材料的特性	122
7.6.2	各类磁性材料的典型性能	123
	参考文献	133
第8章	半导体材料的性能	134
8.1	半导体材料及其物理性质	134
8.1.1	半导体材料的类型与应用	134
8.1.2	半导体超晶格材料的类型	137
8.1.3	半导体材料的物理性质	140
8.2	半导体材料的性能	142
8.2.1	元素半导体的性能	142
8.2.2	化合物半导体材料的性能	144
8.3	半导体薄膜的性质	148
8.3.1	单晶半导体薄膜的性质	149
8.3.2	多晶半导体薄膜的性质	151
8.3.3	非晶半导体薄膜的性质	152
8.3.4	氧化物半导体薄膜的性质	154
8.4	半导体材料的应用性能	155
8.4.1	集成电路用半导体材料的性能	155
8.4.2	传感器用半导体材料的性能	156
8.4.3	光电子器件用半导体材料的性能	161
	参考文献	164
第9章	薄膜材料的性能	165
9.1	薄膜材料的力学性能	165

9.1.1	薄膜的附着性能—界面结合强度	165
9.1.2	薄膜的硬度	173
9.1.3	薄膜的弹性模量	176
9.1.4	薄膜的韧性	178
9.1.5	薄膜的强度	179
9.1.6	薄膜内应力及其测试方法	181
9.2	金属薄膜材料的电学性质	186
9.2.1	连续金属薄膜的导电性能	186
9.2.2	不连续金属薄膜的导电性能	190
9.3	介质薄膜的电学性能	193
9.3.1	介质薄膜的绝缘性能	194
9.3.2	介质薄膜的介电性能	196
9.3.3	介质薄膜的压电性能	199
9.3.4	介质薄膜的热释电性能	201
9.3.5	介质薄膜的铁电特性	202
9.4	特种新型薄膜材料的性能	204
9.4.1	超导薄膜的性能	204
9.4.2	磁性薄膜的性能	205
9.4.3	金刚石薄膜的性能	209
	参考文献	211
第 10 章	光学材料的性能	212
10.1	光学材料的一般概念	212
10.1.1	光学材料的概述	212
10.1.2	光色与波长的关系	213
10.1.3	光的电磁辐射参量	214
10.1.4	光电效应	214
10.1.5	光的反射、吸收与透射	216
10.2	光学材料的性能	219
10.2.1	光学玻璃的性能	219
10.2.2	光学晶体的特性	223
10.2.3	光学塑料的性能	227
10.3	光学薄膜的特性	229
10.3.1	光学薄膜的种类	229
10.3.2	光学薄膜的性能	230
10.4	光学纤维的性能	231

10.4.1	光纤的结构和分类	231
10.4.2	典型光纤的性能	234
10.4.3	光纤在非通信领域的应用性能	237
参考文献		240
第11章 电子、光电子材料的性能		241
11.1	电子、光电子材料的分类	241
11.1.1	电子、光电子材料的应用范围	241
11.1.2	电子、光电子技术用主要材料分类	242
11.1.3	电子、光电子技术用材料现状	243
11.2	电子、光电子主要材料的性能	246
11.2.1	光学功能材料的性能	246
11.2.2	激光材料的性能	260
11.2.3	光电探测器材料及器件的性能	267
11.2.4	光存储和显示材料的性能	271
参考文献		274
第12章 智能材料的性能表征		276
12.1	概述	276
12.1.1	智能材料的一般概念	276
12.1.2	智能材料系统设计程序与基本构成	276
12.2	智能材料的功能原理与应用	278
12.2.1	光导纤维的功能与应用	278
12.2.2	形状记忆合金增强复合材料的功能与应用	280
12.2.3	电流变体材料的功能与应用	280
12.2.4	压电材料的驱动与传感功能	282
12.2.5	磁致伸缩材料的功能	282
12.3	典型智能材料及其特性	283
12.3.1	智能材料的基本要求	283
12.3.2	典型智能材料的特性	284
参考文献		300
第13章 新技术材料的性能		301
13.1	阻尼材料的性能表征	301
13.1.1	阻尼材料的类型与一般特性	301
13.1.2	阻尼材料的性能表征	302
13.1.3	两种复合材料的阻尼性能	303
13.2	隐身(吸波)材料的性能	305

13.2.1	隐身材料的类型与一般特性	305
13.2.2	隐身材料的吸波特性	306
13.2.3	不同功能隐身材料的特性	311
13.3	超导材料及其特性	312
13.3.1	超导材料的类型	312
13.3.2	超导电性	313
13.3.3	实用超导材料的应用性能	315
13.3.4	典型器件用高温超导体材料的性能	320
13.4	纳米材料的性能与表征	323
13.4.1	纳米微粒的特性	324
13.4.2	纳米固体材料的特性	325
13.4.3	典型纳米材料的性能	327
	参考文献	330
第14章	生物医用材料的性能	331
14.1	生物材料的分类、标准与特性	331
14.1.1	生物医用材料的分类	331
14.1.2	生物材料标准	331
14.1.3	生物材料一般特性	332
14.1.4	不同生物医用材料的性能要求	333
14.2	典型生物医用材料的性能	337
14.2.1	TC4 钛合金的性能	337
14.2.2	TiNi 基形状记忆合金(SMA)的性能	338
14.2.3	齿科钛合金的耐腐蚀性能	340
14.2.4	C/C 复合材料的生物活性	341
14.2.5	羟基磷酸钙(HAP)的生物性能	342
14.2.6	TiO ₂ 薄膜的光催化氧化杀伤性能	345
	参考文献	346
第15章	材料的环境特性	347
15.1	生态材料的概念及其性质	347
15.1.1	材料与环境的关系	347
15.1.2	材料的环境负荷分析	349
15.2	典型材料的环境协调性评价	350
15.2.1	两种包装材料的环境协调性评价	351
15.2.2	钢铁材料的环境负荷评价	351
15.2.3	电解铝的环境负荷评价	352

15.3 生态材料及其性能·····	353
15.3.1 生态建筑材料的综合评价体系·····	353
15.3.2 生态保护材料的性能·····	355
参考文献·····	358
第16章 新能源材料及其特性 ·····	359
16.1 能源材料的发展趋势·····	359
16.1.1 能源材料的发展概况·····	359
16.1.2 核材料的应用与要求·····	360
16.2 核材料的性能·····	362
16.2.1 核燃料及相关性能·····	363
16.2.2 反应堆堆芯结构材料及特性·····	366
16.2.3 反应堆压力容器材料及特性·····	368
16.2.4 反应堆控制材料及特性·····	368
16.2.5 反应堆冷却剂材料及特性·····	370
16.2.6 中子慢化和反射材料及特性·····	371
16.2.7 屏蔽材料及特性·····	373
16.2.8 聚变堆主要材料及性能·····	373
16.3 电池材料的性能·····	375
16.3.1 太阳能电池材料的性能·····	375
16.3.2 燃料电池材料的性能·····	376
16.3.3 锂离子电池材料的性能·····	378
16.3.4 聚合物电池材料的性能·····	379
16.4 火药和推进剂的性能·····	380
16.4.1 火药的性能·····	380
16.4.2 火箭推进剂的性能·····	382
16.5 节能材料的性能·····	384
16.5.1 材料的能耗性能·····	384
16.5.2 热电材料的转换效率·····	387
16.5.3 贮氢材料的性能·····	388
参考文献·····	394

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Four elements of materials science and engineering	1
1.1.1 Definition of materials science and engineering	1
1.1.2 Connotation of materials science and engineering	1
1.2 Status and development of traditional materials	2
1.2.1 Status of traditional materials	2
1.2.2 Development trend of traditional materials	2
1.3 Development trend of advanced materials	2
1.3.1 Relationship between advanced materials and the development of high-tech	2
1.3.2 Development trend of advanced materials	3
1.4 Characteristics and classification of materials	3
1.4.1 Characteristics and classification of structural materials	3
1.4.2 Characteristics and classification of functional materials	5
1.5 Structure-property relationships in materials	6
1.5.1 Sensitivity of property to structure in materials	6
1.5.2 Structure-property relationships in metallic materials	6
1.5.3 Structure-property relationships in polymers	7
1.5.4 Structure-property relationships in ceramic materials	7
1.5.5 Structure-property relationships in composites	8
1.6 Area and objectives of material-design	9
1.6.1 Area of material-design	9
1.6.2 Objectives of material-design	9
References	10
Chapter 2 Performance of structural materials	11
2.1 Main properties of structural materials	11
2.1.1 Typical properties of structural materials	11
2.1.2 Stress rupture and creep properties	14
2.1.3 Fatigue and fracture properties	16

2.1.4	Corrosion, oxidation and proofing properties	20
2.2	Structure and performance of polymers	24
2.2.1	Characteristics and classification of polymers	24
2.2.2	Main properties of polymers	24
2.2.3	Main properties of high performance engineering plastic	25
2.3	Service properties of superalloys	26
2.3.1	Properties of superalloys for combustion chamber	26
2.3.2	Properties of superalloys for turbine blades	27
2.3.3	Properties of superalloys for turbine disks	28
2.3.4	Properties of superalloys for turbo-charger	29
2.4	Structure and properties of ceramic materials	29
2.4.1	Characteristics and application principles for structural ceramics	29
2.4.2	Main application properties of structural ceramics	30
	References	31
Chapter 3	Performance of structural composites	32
3.1	Classifications, characteristics and principles for composites	32
3.1.1	Mixed law	32
3.1.2	Hybrid effect	32
3.1.3	Characteristics for structure design	33
3.1.4	Structure and properties of interface	33
3.2	Characteristics of different matrix composites	33
3.2.1	Properties of resin matrix composites	33
3.2.2	Properties of metal matrix composites	34
3.2.3	Properties of ceramic matrix composites	36
3.3	Properties of C/C composites	38
3.3.1	Mechanical properties of C/C composites	39
3.3.2	Friction and wear properties	39
3.3.3	Corrosion resistance properties	41
3.3.4	Thermal shock resistance properties	42
3.3.5	High temperature creep properties	43
3.3.6	Oxidation resistance properties	46
	References	47
Chapter 4	Performance of metal functional materials	48
4.1	Properties of elastic alloys	48
4.1.1	Characteristics and classification of elastic alloys	48

4.1.2	Characterization for the properties of elastic alloys	49
4.2	Properties of expansion alloys	51
4.2.1	Characteristics and classification of expansion alloys	51
4.2.2	Characterization for the properties of expansion alloys	52
4.3	Properties of resistance alloys	53
4.3.1	Characteristics and classification of resistance alloys	54
4.3.2	Characterization for the properties of resistance alloys	54
4.4	Properties of hydrogen storage and hydrogen resistance materials	56
4.4.1	Characteristics of hydrogen storage materials	56
4.4.2	Properties of hydrogen resistance alloys	60
4.5	Properties of precious metal functional materials	61
4.5.1	Properties of electric contact materials	61
4.5.2	Properties of precision resistance materials	64
4.5.3	Properties of thermometric materials	65
4.5.4	Properties of electric resistance strain materials	66
References		67

Chapter 5 Properties of functional polymer and functional polymer

composites	68
5.1 Definition, classification and characteristics of functional polymers ...	68
5.1.1 Definition of functional polymers	68
5.1.2 Classification of functional polymers	68
5.1.3 Characteristics of functional polymers	68
5.2 Properties of conducting polymers	69
5.2.1 Conducting mechanism and classification of conducting polymers	69
5.2.2 Properties and application of conducting polymers	69
5.3 Properties of insulating polymers	72
5.3.1 Characteristics and classification of insulating polymers	72
5.3.2 Properties and application of insulating polymers	73
5.4 Properties of piezoelectric and thermoelectric polymers	75
5.4.1 Characteristics and classification of piezoelectric and thermoelectric polymers	75
5.4.2 Properties of piezoelectric and thermoelectric polymers	75
5.4.3 Application for piezoelectric and thermoelectric polymers	77
5.5 Properties of photosensitive polymers	78
5.5.1 Classification and application range of photosensitive polymers	78