

颗粒增强钢铁基 复合材料

张国赏 魏世忠 韩明儒 著
邢建东 高义民



科学出版社

颗粒增强钢铁基复合材料

张国赏 魏世忠 韩明儒 邢建东 高义民 著

河南科技大学学术著作出版基金资助出版

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了河南省耐磨材料工程技术研究中心研究的颗粒增强钢铁基复合材料的制备方法和组织性能。第1章综合介绍当前国内外复合材料的研究现状与发展趋势;第2章介绍各种复合材料的基体及增强体的结构组成和检测方法;第3章论述金属基复合材料的研究进展和设计的基本准则;第4章论述颗粒增强金属基复合材料的研究进展和复合准则;第5、6章论述陶瓷颗粒局部增强高锰钢基复合材料的研究现状和热处理时的热应力分析;第7~9章论述颗粒增强高锰钢基复合材料的制备工艺、复合材料界面分析和磨损性能研究;第10、11章论述蒙脱土颗粒增强金属基复合材料的研究进展及利用蒙脱土与还原铁粉制备铁基复合材料的工艺过程;第12章论述自生 Al_2O_3 增强铁基复合材料的制备工艺;第13章论述目前国内外金属耐磨材料研究的热点——原位合成颗粒增强金属基复合材料的研究进展和生产应用。

本书的读者对象为矿山机械行业及为其提供产品和服务的机械设备设计、耐磨产品生产厂家的工程技术人员和经营管理人员;并供从事材料摩擦磨损、耐磨材料、表面工程技术研究的人员及相关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

颗粒增强钢铁基复合材料/张国赏等著. —北京:科学出版社,2013.3
ISBN 978-7-03-037070-9

I. ①颗… II. ①张… III. ①颗粒强化-钢-金属基复合材料②颗粒强化-铁-金属基复合材料 IV. ①TB331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 047630 号

责任编辑:耿建业 孙静惠 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013年3月第一次印刷 印张:20 3/4

字数:501 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

新材料是支撑现代文明社会的基石和高新技术发展的先导,是科技进步、社会发展、国力增强的重要物资基础,在 21 世纪,新型材料、生物工程和信息技术成为国家发展水平的重要标志。

颗粒增强钢铁基复合材料是摩擦学与材料防护教育部工程研究中心、河南省耐磨材料工程技术研究中心和高温难熔金属材料国家工程实验室研制的新一代耐磨材料新钢种。河南省耐磨材料工程技术研究中心集科学研究、新产品开发及其工程化、产业化于一体,是耐磨材料生产技术和优质耐磨材料的集散地。

随着高新技术的快速发展,人们对材料不断提出多方面的性能要求,推动着材料向高比刚度、高比韧性、耐高温、耐腐蚀、抗疲劳等多方面发展。复合材料是将两种或两种以上的材料加以复合,得到物理、化学和力学性能都非常优异并能满足不同使用要求的新型材料。

金属基复合材料以其高的比强度、比刚度及良好的热稳定性、耐磨性、尺寸稳定性和成分可设计等优点成为材料研究和开发的热点。颗粒增强金属基复合材料是将陶瓷颗粒增强相外加或自生进入金属基体中得到兼有金属优点(高韧性和高塑性)和增强颗粒优点(高硬度和高模量)的复合材料,具有增强体成本低,微观结构均匀,可采用热压、热轧等传统金属加工工艺进行加工等优点,成为最引人注目的材料研究方向之一。

本书是河南省耐磨材料工程技术研究中心多年心血的结晶和科技成果的精华,同时也参考了兄弟院校和其他单位的经验。前洛阳工学院院长、河南省耐磨材料工程技术研究中心前主任龙锐教授,河南科技大学博士生导师张永振教授对初稿的内容、章节安排、写作体例进行审阅,并给予指导。在成书过程中,很多同志给予作者热情的帮助和大力的支持,特别是徐流杰、李炎、周玉成、翟传鑫等同志提供有关技术资料,王丽红同志协助资料收集工作,在此表示衷心的感谢!

本书的内容是近期最新科研成果,理论上与技术上都有需要完善之处,加之作者水平有限,如有不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

2013 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 复合材料概论	1
1.1 复合材料的发展概况	1
1.2 复合材料的定义	4
1.3 复合材料的命名	5
1.4 复合材料的分类	6
1.4.1 按性能高低分类	6
1.4.2 根据复合方式分类	8
1.4.3 按基体材料类型分类	8
1.4.4 按增强材料种类分类	9
1.4.5 按用途分类	10
1.5 复合材料的性能特点	11
1.5.1 复合材料的性能可设计性	12
1.5.2 复合材料的材料与构件制造的一致性	12
1.5.3 复合材料可综合发挥各种组成材料的优点	13
1.5.4 复合材料可减少加工工序	13
1.5.5 复合材料优异的物理化学性能	13
1.6 复合材料的应用	15
1.6.1 复合材料在航空航天工业中的应用	15
1.6.2 复合材料在其他行业上的应用	16
参考文献	17
第 2 章 复合材料的结构组成	18
2.1 复合材料的组成与基体	18
2.1.1 复合材料的组成	18
2.1.2 复合材料的基体	19
2.2 聚合物基复合材料	19
2.2.1 聚合物的基本概念	20
2.2.2 聚合物材料的分类	21
2.2.3 聚合物基复合材料的历史	22
2.2.4 聚合物基复合材料的特点	23

2.2.5 聚合物基复合材料的分类	24
2.3 金属基复合材料	28
2.3.1 金属基体的分类	29
2.3.2 功能用金属基复合材料的基体	29
2.4 陶瓷基复合材料	29
2.4.1 陶瓷基复合材料的主要分类	30
2.4.2 陶瓷基体材料	32
2.4.3 陶瓷基复合材料的性能特征	36
2.5 水泥基复合材料	37
2.5.1 水泥基复合材料的分类	37
2.5.2 水泥基复合材料混凝土	38
2.5.3 混凝土的性质	41
2.5.4 高性能混凝土	46
参考文献	50
第3章 金属基复合材料	51
3.1 金属基复合材料的研究进展	51
3.1.1 金属基复合材料的定义	51
3.1.2 金属基复合材料的分类	51
3.1.3 金属基复合材料的性能特点	53
3.2 金属基复合材料设计的基本原则	55
3.2.1 基体材料的选择	55
3.2.2 增强体的选择	60
3.2.3 界面的选择	64
3.3 复合材料性能的复合准则	71
3.3.1 复合效应的特征	71
3.3.2 复合效应的类型	72
参考文献	74
第4章 颗粒增强金属基复合材料	75
4.1 颗粒增强金属基复合材料研究的发展	75
4.1.1 颗粒增强金属基复合材料概述	75
4.1.2 颗粒增强金属基复合材料的应用领域	76
4.1.3 颗粒增强金属基复合材料的复合原则	76
4.2 颗粒增强材料	77
4.2.1 颗粒增强材料的增韧机制	77
4.2.2 颗粒增强体的种类	78

4.3 颗粒增强金属基复合材料基体和增强相的选择	79
4.3.1 颗粒增强铁基复合材料研究的意义	79
4.3.2 基体在复合材料中所起的作用	79
4.3.3 选择基体材料的原则	80
4.3.4 颗粒增强金属基复合材料增强相的选择	80
4.4 颗粒增强金属基复合材料的性能特点及影响因素	81
4.4.1 强度	81
4.4.2 弹性模量	81
4.4.3 塑性	82
4.4.4 韧性	82
4.5 颗粒增强金属基复合材料的主要种类	82
4.5.1 颗粒增强铝基复合材料	82
4.5.2 颗粒增强钛基复合材料	84
4.5.3 颗粒增强铜基复合材料	85
4.5.4 颗粒增强镁基复合材料	87
4.5.5 镍基复合材料	92
4.6 金属基复合材料(PRMMC)的制备工艺	94
4.6.1 液相工艺	95
4.6.2 固相工艺	96
4.6.3 液-固两相工艺	98
参考文献	101
第5章 陶瓷颗粒局部增强高锰钢基复合材料的研究现状	103
5.1 关于高锰钢的研究	103
5.1.1 高锰钢的发展概述	103
5.1.2 关于保持高锰钢良好韧性和高耐磨性的研究	104
5.2 复合材料的发展现状	106
5.2.1 颗粒增强钢铁基复合材料制备工艺研究现状	107
5.2.2 颗粒增强钢铁基表面复合材料的研究现状	109
5.2.3 复合材料增强颗粒的研究现状	110
5.2.4 复合材料界面研究现状	112
5.2.5 复合材料的耐磨性研究现状	114
参考文献	116
第6章 高锰钢基复合材料制备及热处理时的热应力	120
6.1 金属基体内含颗粒应力变形的研究进展	121
6.1.1 数值模拟的基本方法	121

6.1.2	温度场与应力场的数值模拟	121
6.1.3	颗粒增强复合材料的应力模拟现状	122
6.2	颗粒增强高锰钢基复合材料热应力模拟计算	122
6.2.1	模拟计算的有限元模型	123
6.2.2	网格划分	124
6.2.3	相关材料性能参数	125
6.2.4	温度场模拟	126
6.2.5	热应力的有限元分析	128
6.3	数值模拟结果分析	130
6.3.1	近界面基体的应力与时间的关系	131
6.3.2	增强体棱角对应力的影响	132
6.3.3	增强体等效直径对应力的影响	133
6.3.4	基体的危险性分析	134
6.3.5	双增强体颗粒的应力干涉	137
6.3.6	浇铸时增强体的热震	139
6.4	残余应力的测量与实验验证	142
6.4.1	残余应力的测试原理	142
6.4.2	验证实验设计	144
6.4.3	结果及分析	144
6.5	本章小结	147
	参考文献	148
第7章	陶瓷颗粒表面增强高锰钢基复合材料制备工艺研究	150
7.1	试验材料及制备工艺的选择	150
7.1.1	基体材料及增强颗粒的选择	150
7.1.2	复合材料制备工艺的选择	153
7.2	离心铸造法制备颗粒 WC/高锰钢表面复合材料工艺研究	153
7.2.1	离心铸造法制备复合材料原理	154
7.2.2	离心机的选择	155
7.2.3	离心机金属铸型的设计	156
7.2.4	离心铸造颗粒随流浇注法工艺的改进	157
7.2.5	离心铸造 WC 颗粒表面增强高锰钢复合材料的显微组织	160
7.3	粉末冶金法制备 Al_2O_3 颗粒增强高锰钢基复合材料工艺研究	162
7.3.1	基体粉料球磨工艺研究	163
7.3.2	Al_2O_3 增强颗粒表面化学镀镍处理工艺研究	165
7.3.3	混粉工艺参数对复合材料的性能影响	171

7.3.4 坯料压制成形工艺的确定	173
7.3.5 真空烧结工艺研究	174
7.3.6 Al_2O_3 颗粒增强高锰钢基复合材料的制备	177
7.4 粉末冶金法制备 WC 颗粒增强高锰钢基复合材料工艺研究	179
7.4.1 烧结温度对 WC 颗粒增强高锰钢基复合材料的影响	179
7.4.2 保温时间对 WC 颗粒增强高锰钢基复合材料的影响	181
7.5 本章小结	182
参考文献	182
第 8 章 颗粒增强高锰钢基复合材料界面分析	184
8.1 金属基复合材料的界面概述	184
8.2 离心铸造颗粒 WC/高锰钢复合材料界面组织分析	185
8.2.1 离心铸造颗粒 WC/高锰钢复合材料界面组织特点	185
8.2.2 离心铸造颗粒 WC/高锰钢界面组织形成原因分析	187
8.2.3 W 元素在复合材料中的扩散	192
8.3 粉末冶金 WC 颗粒增强高锰钢基复合材料界面分析	193
8.3.1 粉末冶金颗粒 WC/高锰钢复合材料界面组织特点	193
8.3.2 粉末冶金颗粒 WC/高锰钢复合材料界面形成机理分析	195
8.4 粉末冶金颗粒 Al_2O_3 /高锰钢复合材料界面分析	201
8.5 本章小结	202
参考文献	203
第 9 章 高锰钢基表面复合材料的磨损性能研究	204
9.1 复合材料磨损行为概述	204
9.2 复合材料三体磨损试验研究	206
9.2.1 三体磨料磨损试验方法	206
9.2.2 三体磨料磨损试验结果及分析	207
9.3 复合材料冲击磨料磨损性能研究	210
9.3.1 试验方法	211
9.3.2 材料冲击磨料磨损试验结果	211
9.3.3 冲击磨料磨损失效机制分析	215
9.4 本章小结	228
参考文献	229
第 10 章 蒙脱土颗粒增强复合材料的研究	230
10.1 蒙脱土与聚合物/层状硅酸盐纳米复合材料	230
10.1.1 蒙脱土概述	230
10.1.2 蒙脱土的应用	231
10.2 蒙脱土的微观结构及高温相变分析	233

10.2.1 蒙脱土铁基复合材料预制块的制备	233
10.2.2 蒙脱土及复合材料的微观组织分析与性能测试	235
10.3 蒙脱土的微观结构分析	236
10.3.1 蒙脱土的物相检测分析	236
10.3.2 蒙脱土的微观形貌分析	237
10.3.3 蒙脱土的微观结构分析	238
10.3.4 蒙脱土的热重分析	242
10.4 蒙脱土的焙烧试验	243
10.5 蒙脱土的焙烧温度对焙烧产物的影响	244
10.5.1 焙烧温度对焙烧产物宏观特征的影响	244
10.5.2 焙烧温度对蒙脱土物相的影响	245
10.5.3 焙烧温度对蒙脱土产物微观形貌的影响	247
10.5.4 焙烧温度对蒙脱土产物硬度的影响	247
10.6 本章小结	249
参考文献	249
第 11 章 蒙脱土与还原铁粉制备铁基复合材料的研究	251
11.1 引言	251
11.2 复合材料烧结温度设计	251
11.3 探索性试验	252
11.3.1 CMC/MMT 纳米复合材料与还原铁粉制备铁基复合材料	252
11.3.2 蒙脱土与还原铁粉制备铁基复合材料	252
11.3.3 经过预先烧结的蒙脱土与还原铁粉制备铁基复合材料	254
11.4 Fe-Al-MMT 体系复合材料的制备	256
11.4.1 标准生成吉布斯自由能计算	256
11.4.2 蒙脱土与 Al 粉的反应	258
11.4.3 铁基复合材料的制备	259
11.4.4 影响复合材料制备与性能的因素	264
11.5 本章小结	268
参考文献	268
第 12 章 自生 Al_2O_3 增强铁基复合材料的研制	269
12.1 Al_2O_3 颗粒增强铁基复合材料的发展状况	269
12.1.1 Al_2O_3 颗粒增强铁基复合材料概述	269
12.1.2 Al_2O_3 颗粒增强铁基复合材料制备方法	269
12.1.3 Al_2O_3 颗粒增强铁基复合材料的发展趋势	273
12.2 Al_2O_3 颗粒增强铁基复合材料的制备	273
12.2.1 实验的工艺技术路线	274

12.2.2 氢氧化铝超细粉的制备	274
12.2.3 自生 Al_2O_3 颗粒增强铁基复合材料的制备工艺	275
12.3 氢氧化铝超细粉的制备	276
12.3.1 超细氢氧化铝的制备	276
12.3.2 氢氧化铝粉的检测	276
12.3.3 氢氧化铝粉的脱水处理	278
12.4 自生 Al_2O_3 颗粒增强铁基复合材料的制备	279
12.4.1 铁铝尖晶石的形成及抑制	279
12.4.2 氧化铝颗粒增强铁基复合材料的制备	284
12.5 烧结温度对组织和性能的影响	289
12.5.1 试验方案	289
12.5.2 烧结温度对组织和性能的影响	290
12.6 本章小结	294
参考文献	295
第 13 章 原位合成颗粒增强钢铁基复合材料的研究	297
13.1 原位合成颗粒增强铁基复合材料的制备	297
13.1.1 原位合成颗粒增强铁基复合材料增强颗粒与基体的选择	297
13.1.2 原位合成颗粒增强铁基复合材料的原位制备工艺	299
13.2 原位 TiC 颗粒增强铸造钢基复合材料制备工艺	302
13.2.1 试验方法	302
13.2.2 试验结果与讨论	303
13.3 原位合成 TiC 颗粒增强铁基复合材料的组织和性能	304
13.3.1 原位合成颗粒增强铁基复合材料制备工艺概述	304
13.3.2 试样制备与试验方法	305
13.3.3 试验结果与讨论	306
13.4 原位生成颗粒增强钢基复合材料轧辊的制备	309
13.4.1 反应铸造法原位生成颗粒增强钢基复合材料轧辊	309
13.4.2 钢基复合材料轧辊化学成分	310
13.4.3 钢基复合材料轧辊制造工艺	311
13.4.4 钢基复合材料轧辊的性能	313
13.5 本章小结	314
参考文献	315

第 1 章 复合材料概论

1.1 复合材料的发展概况

材料是社会进步的物质基础。纵观人类使用材料的历史,可以清楚地看出,每一种重要材料的诞生和利用,都会把人类的生产力提高到一个新的水准,从而大大改善人类的生活水平。人类研究和制造材料的历史实际上是人类文明的发展史。人类制造材料最早可追溯到石器时代,那时人类就开始制造一些石器,如石刀、石制武器等。中国在春秋战国时期就开始制造砖瓦,到汉代已开始使用陶器,如陶碗、陶盆、陶罐等。据考证,大约在公元前 10 世纪至公元前 7 世纪,古罗马人就用陶器做下水管道。可见人类制备材料的历史很悠久。

复合材料是随着现代科学技术的发展而涌现出来的具有强大生命力的材料,具有刚度大、强度高、质量轻的优点,而且可根据使用条件的要求进行设计和制造,以满足各种特殊用途,从而极大地提高了工程结构的效能,已成为一种当代新型的工程材料。复合材料技术的出现是近代材料科学的伟大成就,也是材料设计技术的一个重大突破。

复合材料的发展一般可以分为两个阶段,即早期复合材料阶段和现代复合材料阶段。早期复合材料的历史较长,古代就出现了原始型的复合材料,如用草茎和泥土作建筑材料;沙石和水泥基体复合的混凝土也有很长的历史。很多实例散见于现存的历史遗迹中,并且可以从中发现现代复合材料的思想萌芽。古代人类制备材料带有一定的经验性和盲目性,他们是在不懂化学和物理基础知识的情况下进行制备的。

现代复合材料是材料发展中合成材料时期的产物。这里所说的现代复合材料不包括天然复合材料和历史遗迹中发现的早期复合材料。现代复合材料的发展只有 70 多年的历史,它的主要特征是基体采用合成材料。学术界开始使用“复合材料(composite materials)”一词大约是在 20 世纪 40 年代,当时出现了玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂,开辟了现代复合材料的新纪元^[1]。1940 年,世界上第一次用玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂制造军用飞机雷达罩。1942 年,用手糊工艺制成了第一艘玻璃钢渔船。由 20 世纪 60 年代开始陆续开发出多种高性能纤维。玻璃纤维增强塑料(俗称玻璃钢)制品已经广泛应用于航空、机械、化学、体育和建筑工业中。这种复合材料中玻璃纤维的用量为 30%~60%,所用基体材料主要有不饱和

聚酯树脂、环氧树脂和酚醛树脂。玻璃钢的比强度(拉伸强度/密度)比钢还要高,而且耐腐蚀性能好,称为第一代复合材料。

20 世纪 80 年代以后,由于人们丰富了设计、制造和测试等方面的知识和经验,如层合板力学性能的准确计算,短纤维或连续纤维的纱束、垫、毡或编织物、编织布及预浸料的制作、模压、缠绕、拉挤、注射等成型工艺的出现,性能标准化以及玻璃纤维、树脂等原材料的不断改进,使玻璃纤维增强塑料的发展达到了成熟。加上各类作为复合材料基体的材料的使用和改进,现代复合材料的发展达到了更高的水平,即进入高性能复合材料的发展阶段。

现代技术对先进复合材料(advanced composite material, ACM)的要求不仅是比强度高、比刚度(模量/密度)高,同时剪切强度和剪切模量要高,高温性能和耐热性也要高。针对玻璃纤维模量较低的缺点,20 世纪 50~60 年代,研究者相继开发了硼纤维、碳纤维和芳纶纤维。早期生产的这些纤维的性能见表 1-1。由表 1-1 可知,硼纤维与玻璃纤维密度相差不多,而弹性模量要高得多;碳纤维和芳纶纤维均具有比玻璃纤维高得多的弹性模量和更低的密度,这类纤维称为高级纤维。另外,玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂的耐热性能较差,当温度大于 60℃ 时,其力学性能开始下降,温度为 90℃ 时,力学性能保留率仅为 60%。用硼纤维、碳纤维和芳纶纤维增强的塑料基复合材料(BFRP、CFRP 和 KFRP)的最高使用温度长期可达 150℃ 以上,它们兼具高比刚度和高比强度特性,称为第二代现代复合材料。

表 1-1 玻璃纤维及初期生产的硼纤维、碳纤维和芳纶纤维的性能

纤维类型	拉伸强度/GPa	弹性模量/GPa	密度/(g/cm ³)	代号
E-玻璃	3.4	72.1	2.54	
S-玻璃	4.6	84.8	2.49	
硼(W 芯)	2.8	411.9	2.60	
碳(沥青基)	2.0	343.3	1.60	UCC-50
碳(PAN 基)	1.8	411.9	1.95	Morganite
芳纶	2.9	127.5	1.45	Kevlar-49

用聚酰亚胺作基体,以上述高级纤维作增强体的复合材料,使用温度高,但不超过 200℃;用金属(铝、镁、钛、金属间化合物)作基体的复合材料,使用温度为 175~900℃;用陶瓷(碳化硅、氮化硅、碳等)作基体的复合材料,使用温度为 1000~2000℃。20 世纪 70 年代,开发了耐热性能更高的氧化铝纤维和碳化硅纤维,还开发了各种晶须(如碳化硅晶须和氧化铝晶须),使现代复合材料的性能向耐热、高韧性和多功能方向发展,称为第三代现代复合材料^[2]。

图 1-1 为现代复合材料的发展过程。第二代和第三代现代复合材料统称为高级复合材料或高性能复合材料(也称为先进复合材料)。

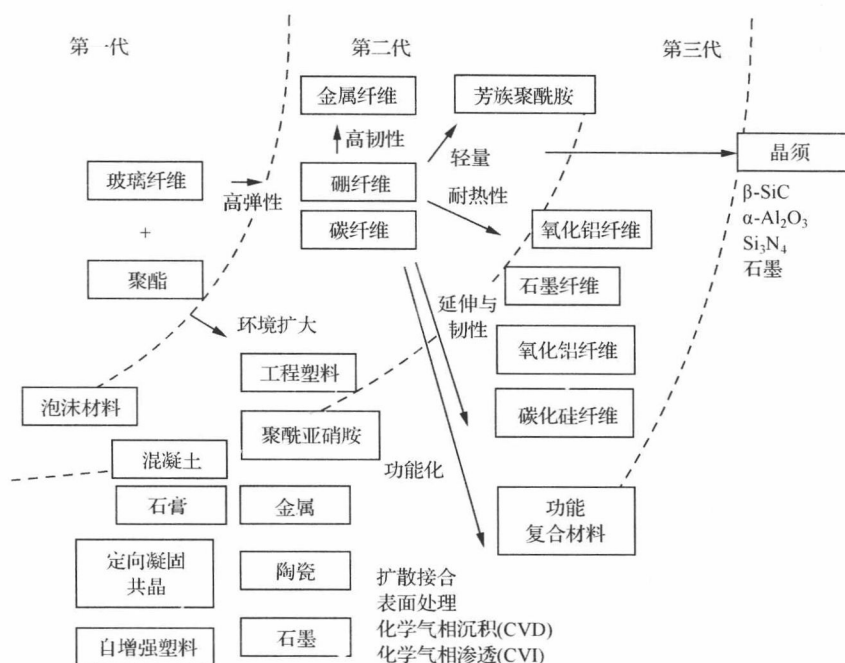


图 1-1 现代复合材料发展简图

先进复合材料是具有特殊优异性能的材料,其制造过程涉及先进技术。它主要应用于尖端科学领域,如航天航空,也应用于汽车、体育、建筑、医疗及其他领域。

材料的复合化是材料发展的必然趋势之一。19 世纪末复合材料开始进入工业化生产。20 世纪 40 年代,玻璃纤维和合成树脂大量商业化生产之后,纤维增强树脂复合材料逐渐发展成为工程材料。到 20 世纪 60 年代,其技术更加成熟,在很多领域得到应用,并开始取代金属材料和高聚合物等材料。树脂基高性能复合材料已用于飞机的承力结构,后又逐步进入其他工业领域。其增强体纤维有碳纤维、芳纶等。70 年代末期发展出了用高强度、高模量的耐热碳纤维和陶瓷纤维与金属复合,特别是与轻金属复合,形成了金属基复合材料,克服了树脂基复合材料耐热性差、导热性低等缺点。该材料具有耐疲劳、耐磨损、高阻尼、不吸潮、热膨胀系数低等优点,已经广泛应用于航空航天等高科技领域。80 年代开始,逐渐研制出陶瓷复合材料。该材料是用陶瓷纤维补强陶瓷基体以提高韧性,克服了陶瓷材料脆性高的缺点,主要应用目标是制造燃气涡轮叶片和其他耐热部件。现代技术的发展,对材料性能的要求日益提高,单质材料很难满足性能的综合要求和高指标要求。复合材料因其具有可设计的特点受到各发达国家的重视。航空航天技术的发展,对结构材料的比强度、比模量、耐热性和加工性能要求都越来越高。针对不同

的需求,研究者开发出了高性能树脂基先进复合材料,其与金属、陶瓷、聚合物等材料并列为重要材料。有人预言,21 世纪将是复合材料的时代。

目前蓬勃发展的复合材料技术就是用原有的金属材料、无机非金属材料和高分子材料等作为组分,通过一定的工艺方法将它们复合在一起,制成既能保留原有材料组分的特性,又可以克服组分材料的不足,还能显示出某些新性能的材料。

当前以电子信息、生命科学、新材料和能源四大学科为基础的新的科技革命正带动人类的文明蓬勃发展。新材料的发展对整个科学技术的发展起到尤为重要的作用,如新近材料科学的飞跃发展对电子信息、能源、航空航天、交通等行业的发展起到了推动性的作用。

1.2 复合材料的定义

给复合材料下一个严格、精确而又统一的定义一直是材料学界存在争议的问题。随着复合材料的不断发展,复合材料在不断完善它的内涵和外延。从广义上讲,复合材料是由两种或两种以上不同化学性质的组分组合而成的材料。但在现代材料学界中,复合材料专指由两种或两种以上不同相态的组分所组成的材料,即用经过选择的一定数量比的两种或两种以上的组分(或称组元),通过人工复合,组成多相、三维结合且各相之间有明显界面的、具有特殊性能的材料。

国际标准化组织为复合材料所下的定义是:复合材料是由两种或两种以上物理和化学性质不同的物质组合而成的一种多相固体材料。复合材料的组分材料虽然保持其相对独立性,但复合材料的性能却不是组分材料性能的简单加和,而是有着重要的改进。在复合材料中,通常有一相为连续相,称为基体;另一相为分散相,称为增强相(增强体)。分散相是以独立的形态分布在连续相中的,两相之间存在着相界面。分散相可以是增强纤维,也可以是颗粒状或弥散的填料^[3]。

从上述的定义可以看出:复合材料可以是一个连续物理相与一个连续分散相的复合,也可以是两个或者多个连续相与一个或多个分散相在连续相中的复合。复合后的产物为固体时才能称为复合材料,若复合产物为液体或气体时,就不能称为复合材料。复合材料既可以保持原材料的某些特点,又能发挥组合后的新特性,它可以根据需要进行设计,从而最合理地达到使用所要求的性能。

《材料大词典》对复合材料给出了比较全面而完整的定义:复合材料是由有机高分子、无机非金属或金属等几类不同材料通过复合工艺组合而成的新型材料,它既能保留原组分材料的主要特色,又能通过复合效应获得原组分所不具备的性能。可以通过材料设计使组分的性能互相补充并彼此关联,从而获得新的优异性能,与一般材料的简单混合有本质的区别。

该定义强调了复合材料具有可设计的重要特点。在工业上,复合材料通常是

指高强度、高模量、脆性的增强剂和低模量、韧性的基体材料经过一定的成型加工方法而制成的综合性能优良的材料。现代材料科学所讨论的复合材料一般是指纤维增强、薄片增强、颗粒增强或自增强的聚合物基、陶瓷基或金属基复合材料,它把握了复合材料的本质即增强剂增强的概念。使用最广泛、效果最好的增强剂是纤维材料,因此人们通常讲的复合材料是狭义的复合材料——纤维增强复合材料。

现代材料的研究是在物理化学等科学和技术的基础上进行的,如化学元素的测定技术、矿物晶体结构的测定技术、物质显微结构的测定技术等,对材料科学的发展起到重要的作用。材料科技工作者的工作主要有:①发现新的物质,测试新物质的结构和性能;②由已知的物质,通过新的制备工艺,改善其显微结构和材料的性能;③由已知的物质进行复合,制备出具有优良性能的复合材料。

20世纪60年代以来,科学技术的发展,特别是尖端科学技术的突飞猛进,对材料的性能要求越来越高,在许多方面,传统单相材料的性能已不能满足实际的需求。这就促使人们研究制备出由多相组成的复合材料,以提高材料的性能。新近出现的复合材料有的是由几种连续相组成的复合材料,其中没有分散相。因此,复合材料可以是一个连续相与一个连续分散相的复合,也可以是多个连续相与一个或多个分散相的复合,还可以是多个连续相的复合,复合后的产物必须为固体材料。复合材料既可以保持原材料的某些特点,又能发挥组合后的新性能。它可以根据需要进行设计,从而达到使用要求。

复合材料各组分之间可取长补短、协同作用,弥补了单相材料的缺点,改进了单相材料的性能,甚至可产生单一材料所不具有的新性能。复合材料的诞生和发展,是现代科学技术不断进步的结果,也是材料设计方面的一个突破。它综合了各种材料如纤维(晶须)、树脂、橡胶、金属、陶瓷等的优点,按需要设计、复合成综合性能优异的新材料。

纵观复合材料的发展过程,可以看到,早期出现的复合材料,由于其性能相对比较低、使用面广,被称为常规复合材料。后来随着高技术的发展,出现了性能高的先进复合材料。

1.3 复合材料的命名

许多新材料的发展先于科学命名,故常常习惯先应用一些通俗的名称。例如,我国20世纪50年代开始出现的玻璃纤维和树脂的复合材料,称为玻璃钢,它的其他名称还有玻璃纤维增强塑料、玻璃塑料、玻璃纤维复合材料等。对于同一种材料,若其名称很多,互不统一,甚至名称含义不确切,就容易引起混乱,造成错觉,不利于材料的应用和发展。所以,有必要统一规范命名。

复合材料在世界各国还没有统一的名称和命名方法,比较共同的趋势是根据

增强体和基体的名称命名^[4],一般有以下三种情况。

(1) 强调基体时,以基体材料的名称为主,如树脂基复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料等。

(2) 强调增强体时,以增强体材料的名称为主,如玻璃纤维增强复合材料、碳纤维增强复合材料、陶瓷颗粒增强复合材料。

(3) 基体材料名称与增强体材料名称并用。这种命名方法常用来表示某一具体的复合材料,习惯上将增强体材料的名称放在前面,基体材料的名称放在后面,如玻璃纤维增强环氧树脂复合材料,可简称为玻璃纤维/环氧树脂复合材料,或玻璃纤维/环氧。为书写简便,也可仅写增强材料和基体材料的缩写名称,中间用一条斜线隔开,后面再加复合材料。如上述玻璃纤维和环氧树脂构成的复合材料,可写作玻璃/环氧树脂复合材料。有时为突出增强体材料和基体材料,根据强调的组分不同,也可简称为玻璃纤维复合材料或环氧树脂复合材料,而我国则常将这类复合材料通称为玻璃钢。碳纤维和金属基体构成的复合材料称为金属基复合材料,也可称为碳/金属复合材料,碳纤维和碳构成的复合材料称为碳/碳复合材料。

国外还常用英文编号来表示,如 MMC(metal matrix composite)表示金属基复合材料,FRP(fiber reinforced plastic)表示纤维增强塑料,而玻璃纤维/环氧则表示为 GF/Epoxy 或 G/Ep(G-Ep)。

1.4 复合材料的分类

随着材料品种的不断增多,人们为了更好地研究和应用材料,需要对材料进行分类。材料的分类方法较多,如按材料的化学性质分类,有金属材料、非金属材料;按物理性质分类,有绝缘材料、磁性材料、透光材料、半导体材料、导电材料等;按用途分类,有航空材料、电工材料、建筑材料、包装材料等。

复合材料的分类方法很多,常见的有以下几种。

1.4.1 按性能高低分类

常用复合材料是指玻璃纤维增强塑料(俗称玻璃钢)等工业生产和日常生活中常用的复合材料。

先进复合材料又称高性能复合材料,主要是以碳、芳纶、陶瓷的纤维和晶须等高性能增强体与耐高温的高聚物、金属、陶瓷和石墨等构成的复合材料。这类材料往往用于各种高技术领域中用量少而性能要求高的领域,尤其是在航空航天领域应用广泛。

高性能复合材料由各种高性能增强体(纤维及其织物、晶须、颗粒)与各种聚合物、金属、碳及非碳陶瓷基体复合而成。高性能复合材料是具有高比模量、高比强