

高等学校试用教材

复合材料学

周祖福 主编



武汉工业大学出版社

高等学校试用教材

复 合 材 料 学

周祖福 主编

武汉工业大学出版社

• 武 汉 •

(鄂)新登字 13 号

内容提要

复合材料是人们在掌握原有单一材料基础上采用一定的复合方式而制造的新材料。本书较全面地介绍了复合材料的种类、性能、制法及应用,并较全面、详细地介绍了用于制备复合材料的整个材料领域的各种材料的性能、形态、制备与应用等,便于科技工作者制造新性能的复合材料,从而丰富其材料及材料学知识。

本书是大学本科生、研究生的教材,对从事材料研究、工程设计和复合材料生产的技术人员也有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

复合材料学/周祖福主编. —武汉:武汉工业大学出版社,1995. 11

ISBN 7-5629-1058-8

I. 复… I. 周… III. 工程材料:复合材料-材料科学 N. TB33

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞珈路 14 号 邮编 430070)

武汉工业大学出版社核工业中南五〇九印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:444 千字

1995 年 11 月第 1 版 1995 年 11 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:18.00 元

前 言

《复合材料学》是按高等院校复合材料类专业教学指导委员会于1989年和1990年两次讨论和确定的教材大纲而编写的全国统编教材。本书是复合材料类专业大学本科的必修专业课教材。

复合材料学是包含多学科、多领域的一门综合性学科。本教材以恰当的比例分别对聚合物基、陶瓷基、金属基复合材料的性能、制备、应用及发展动态进行了系统介绍,同时也对国内外采用的各种复合材料的组分材料进行了较全面地介绍,并重视了复合材料性能与各组分材料的关系。取材力求全面、先进。

本教材不仅能丰富学生对材料及材料学的知识,并对他们掌握现有的复合材料及进一步认识复合材料并开发新型复合材料体系提供了较深广的基础知识。

本教材除作为复合材料、高分子材料专业大学本科学生的必修课教材外,也可作为其他材料类专业的参考教材,也是从事复合材料研究、生产的专业技术人员的重要参考书。

本教材由武汉工业大学周祖福教授主编,上海交通大学赵昌正教授、武汉工业大学彭进波讲师、黄志雄讲师、毕晓平副教授、哈尔滨建工学院张惠林副教授参编。编写分工如下:周祖福编写1、2、3、4、7、8、10章;赵昌正编写13、14、15章;彭进波编写12、16、17、18章;黄志雄编写5、6章;毕晓平编写9、11章;张惠林编写第2章中2.1。

担任本教材主审的是北京航空航天大学宋焕成教授、国防科技大学刘凤荣教授。二位主审对本教材的全部书稿进行了认真审查,并提出了许多宝贵意见。根据编、审统一认识的修改意见,重新对全书进行了修改定稿。

在教材编写过程中,得到了编写人员所在单位的领导及老师们的支持和关怀,在此表示衷心感谢。

由于时间紧迫和编者水平所限,书中错误及不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1995年6月于武汉

目 录

第一篇 绪 论

1 复合材料的特性	1
1.1 引言	1
1.2 复合材料的定义与命名	2
1.3 复合材料的分类	3
1.4 复合材料的特性	5

第二篇 复合材料的基体材料

2 金属材料	8
2.1 金属的性能与结构	8
2.2 铝及其合金	17
2.3 铜及其合金	31
2.4 钛及其合金	42
2.5 镁及其合金	47
3 无机胶凝材料	50
3.1 水泥	50
3.2 镁质胶凝材料	57
3.3 石膏	62
4 陶瓷材料	67
4.1 概述	67
4.2 陶瓷原料与制坯	69
4.3 陶瓷的烧制	77
4.4 高温氧化物陶瓷	79
4.5 碳化物陶瓷	84
4.6 氮化物陶瓷	88
5 聚合物材料	93
5.1 聚合物的种类	93
5.2 聚合物的结构与性能	95
5.3 聚合物体系的流变行为	100
5.4 复合材料选用聚合物的原则	104
6 其他材料	107
6.1 半导体材料	107
6.2 磁性材料	108
6.3 超导材料	110

6.4 光功能材料	111
6.5 功能转换材料	113

第三篇 复合材料的增强材料

7 玻璃纤维及其制品	117
7.1 概述	117
7.2 玻璃纤维的结构与组成	118
7.3 玻璃纤维的性能	119
7.4 玻璃纤维及其制品	125
7.5 玻璃纤维的表面处理	130
7.6 特种玻璃纤维	135
8 碳纤维	137
8.1 概述	137
8.2 碳纤维的分类与制造	139
8.3 碳纤维的结构与性能	145
8.4 碳纤维的表面处理	148
9 其他无机纤维增强材料	151
9.1 硼纤维	151
9.2 碳化硅纤维	152
9.3 氧化铝纤维	155
9.4 石棉	156
9.5 硅灰石	159
10 芳纶纤维	161
10.1 概述	161
10.2 芳纶纤维的结构与特性	161
10.3 芳纶纤维的制造	166
10.4 凯美拉纤维的制品	167
10.5 芳纶纤维及其复合材料的应用	169
11 填料	171
11.1 概述	171
11.2 石墨	176
11.3 云母	177
11.4 高岭土	178
11.5 膨润土	178
11.6 碳酸钙	179
11.7 滑石粉	181
11.8 白炭黑	181
11.9 空心玻璃微珠	182
12 聚合物基复合材料	184
12.1 聚合物基复合材料的分类与结构形式	184
12.2 聚合物基复合材料的制造技术	189

12.3	聚合物基复合材料的基本性能	196
12.4	聚合物基复合材料的应用	210
13	金属基复合材料.....	217
13.1	金属基复合材料的类型	217
13.2	金属基复合材料的制造技术	218
13.3	某些金属基复合材料的基本性能	223
13.4	金属基复合材料的应用	235
14	陶瓷基复合材料.....	237
14.1	陶瓷基复合材料的探索	237
14.2	陶瓷基复合材料的成型工艺及基本性能	238
14.3	陶瓷基复合材料的应用	244
15	碳/碳复合材料	245
15.1	碳/碳复合材料的制造技术.....	245
15.2	碳/碳复合材料的性能及应用.....	250
16	无机胶凝复合材料	255
16.1	玻璃纤维增强水泥(GRC)	256
16.2	钢纤维增强混凝土	262
16.3	纤维增强石膏	266
17	混杂复合材料	267
17.1	混杂纤维增强复合材料的结构形式	267
17.2	混杂纤维增强复合材料的特性	268
17.3	混杂纤维增强复合材料的应用	269
18	其他复合材料	275
18.1	功能复合材料	275
18.2	生体复合材料	280
18.3	智能复合材料	284
	参考文献	286

第一篇 绪 论

1 复合材料的特性

1.1 引 言

人类进步的历史与人类应用材料的进步有着密切的联系,所以人们往往以人类应用材料的进步情况来说明人类文明进步的历史过程。例如石器时代、铜器时代、铁器时代等古代历史是如此,现代历史也是如此,人类为了一定的生产或科学目的地实现,一直在不断地研究新材料,所以说人类在科学技术上的进步往往是与新材料的出现分不开的。

人们使用和制造材料已有几千年的历史,然而材料发展成为一门科学只是近 30 多年的事。长期以来,人们对于材料的认识往往停留在强度、密度、透光等宏观性质观测的水平上。由于近代物理和近代化学的发展,再加上各种精密测试仪器和微观分析技术的出现,使人们对材料的研究,逐步由宏观现象的观测逐步深入到微观本质的探讨,由经验性的认识逐步深入到规律性的认识。在这样的背景下,一门新兴的综合性学科——材料科学,逐步形成并日趋成熟。

材料科学是一门应用性的基础科学。它用化学组成和结构的原理来阐明材料性能的规律性,进而研究和发展具有指定性能的新材料。

材料的品种繁多,从使用上看,可分为两大类:一种是结构材料;另一种是功能材料。对于结构材料,主要使用它的力学性能,这就需要了解材料的强度、刚度、变形等特性。对于功能材料,主要使用它的声、光、电、热等性能,这就需要了解材料在声、光、电、热场中的行为。

长期以来,人们不断地研究改进原有材料,研究出许许多多新的材料,并且积累了丰富的应用材料的经验。但是,人们也发现,任何一种单一材料有其若干突出的优点,但也存在一些明显的缺点。材料专家们倾其毕生的精力,一代接一代地辛勤工作,使材料的优点进一步得到发挥,缺点得到一定程度的克服。然而材料性能改进的程度往往是有限的,工作的难度是很大的。

近 20 年来,科学技术的发展非常迅速,对材料提出了更为严格的要求,使材料研究逐步摆脱靠经验和摸索的办法研制材料的轨道,向着按预定性能设计新材料的方向发展。

人们也发现,将两种、或两种以上的单一材料,采用复合的方式可制得新的材料。这些新的材料,保留了原有组分材料的优点,克服或弥补了缺点,并显示出一些新的性能,这就是复合材料。采用材料复合的方式在一定程度上可以说是研究新材料的捷径,同时复合材料有很强的可设计性。而人们梦寐以求的是按使用要求的性能设计、制造新材料。复合材料的出现和发展就是材料设计方面的一个突破。复合材料一出现就引起了人们的高度重视,得到迅速发展。

1.2 复合材料的定义与命名

1.2.1 复合材料的定义

关于复合材料的定义,人们有不同的说法。有人说:“复合材料就是由两种或两种以上单一材料构成的,具有一些新性能的材料。”这种说法反映了复合材料的一定内容,也比较容易被人们理解和接受。但从科学的角度看,尚不够完善,不够确切。经专家们较长时间的讨论研究,复合材料定义为:“由两个或两个以上独立的物理相,包含粘结材料(基体)和粒料、纤维或片状材料所组成的一种固体产物”。

上述定义中说的物理相,可以是连续的,也可以是不连续的。连续的物理相可以是一个、两个或两个以上。这种连续的物理相在复合材料中又常称做基体材料。不连续的物理相也可以是一个、两个或两个以上,它们多是粒料、纤维、片状材料或它们的组合。对于这些不连续的物理相,因它们是分散于连续的物理相中,所以也称为分散相。又因为它们多数能对基体材料起一定的增强作用,所以又把它们称为增强材料。

从上述的定义中还可以得出,复合材料可以是一个连续物理相与一个分散相的复合,也可以是两个或多个连续相与一个或多个分散相在两个连续相中复合的材料。

定义中还明确了,复合后的产物为固体材料才称得上复合材料。若复合产物为液体或气体时就不叫复合材料。

1.2.2 复合材料的命名

物应有其名。但历史的发展又往往是事物的发展先于其科学命名,故常先使用一些通俗、形象的名称。如国内 50 年代开始出现的玻璃纤维复合材料,当时曾称为“玻璃钢”。后来其他名称才相继出现,如玻璃纤维增强塑料、玻璃塑料、玻璃布层压板、玻璃纤维复合材料等。对于一种材料,若其名称很多,互不统一,甚至有的名称含义不确切,就容易引起混乱,造成错觉,不利于材料的应用与发展。

有机化合物发展迄今,人们已经可以根据需要的性质来设计一些化合物的化学结构,并能合成出来。这当然是化学家的贡献,但其中科学的命名法也起了一定的作用。根据 1892 年日内瓦命名法,对已有的有机化合物进行了命名,并能在已知的化合物结构的基础上,设计新结构的化合物,并预知其性能。

总结物质命名的原则,应该根据物质的组成、结构和特性的相互关系来确定名称。名称应在一定程度上反映事物的特征。名称除应便于学习和记忆外,还应对事物的发展有一定的推动作用。

因此,复合材料可根据增强材料与基体材料的名称来命名。将增强材料的名称放在前面,基体材料的名称放在后面,再加上“复合材料”。如碳纤维和环氧树脂构成的复合材料称为“碳纤维环氧树脂复合材料”。为书写简便,也可仅写增强材料和基体材料的缩写名称,中间加一斜线隔开,后面再加“复合材料”。如上述碳纤维和环氧树脂构成的复合材料,也可写做“碳/环氧复合材料”。有时为突出增强材料或基体材料,视强调的组分不同,尚可简称为“碳纤维复合材料”或“环氧树脂复合材料”。碳纤维和金属基体构成的复合材料叫“金属基复合材料”,也可书写为“碳/金属复合材料”。碳纤维和碳构成的复合材料叫“碳/碳复合材料”。

1.3 复合材料的分类

随着材料品种不断增加,人们为了更好地研究和材料,需要对材料进行分类。

材料的分类,历史上已有很多方法。如按材料的化学性质分类,有金属材料、非金属材料之分。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、耐高温材料等。按用途分类,有航空材料、耐烧蚀材料、电工材料、建筑材料、包装材料等。尚有更简单的分类方法,即概括为结构材料与功能材料两大类。

复合材料的分类方法也有不少。如根据增强原理分类,有弥散增强型复合材料、粒子增强型复合材料和纤维增强型复合材料。根据复合过程的性质分类,有化学复合的复合材料、物理复合的复合材料和自然复合的复合材料。根据复合材料的功能分类,有电功能复合材料、热功能复合材料、光功能复合材料等。

根据本书提出的复合材料含义和命名原则,复合材料的分类有如下几种。

1.3.1 根据基体材料类型分类

(1)金属基复合材料;(2)聚合物基复合材料;(3)无机非金属基复合材料。

1.3.2 根据增强纤维类型分类

(1)碳纤维复合材料;(2)玻璃纤维复合材料;(3)有机纤维复合材料;(4)硼纤维复合材料;(5)混杂纤维复合材料。

1.3.3 根据增强物的外形分类

(1)连续纤维增强复合材料;(2)纤维织物或片状材料增强的复合材料;(3)短纤维增强的复合材料;(4)粒状填料复合材料。

1.3.4 同质复合的与异质复合的复合材料

(1)同质复合的复合材料。包括碳纤维增强碳复合材料,不同密度的同种聚合物的复合等。
(2)异质复合的复合材料。前面分类中提到的多属此类。

表 1-1 是按构成复合材料的单一材料的种类不同而对复合材料分类的情况。

表 1-1 复合材料的分类

复合材料		连续相	金属材料	无机材料	有机材料 (塑料、木材、橡胶等)
分散相	金属材料	金属纤维	FMC	FCC	纤维增强轮胎
	金属晶须	FMC	FCC		
	金属板	金属层板(包覆金属)			
无机材料	微粒	粒子弥散强化合金(氧化铝烧结金属制品,二氧化钛弥散镍)			粒子填充塑料
	陶瓷纤维	CFMC			
	陶瓷晶须	CFMC			
玻璃	玻璃粒子				粒子填充塑料
	玻璃纤维				GFRC

续表 1-1

复合材料		连续相	金属材料	无机材料	有机材料 (塑料、木材、橡胶等)
分散相					
碳材料	碳 黑				粒子填充塑料、 粒子填充橡胶
	碳纤维				CFRC
有机材料	塑 料	金属-塑料层板 (铝-聚乙烯-铝、乙烯-钢板)		陶瓷-塑料复合物	木材-塑料复合物
	橡 胶				高冲击强度塑料 (ABS 等)
	高分子纤维				FRC

复合材料的构成材料之一为纤维者称为纤维复合材料,因纤维多有增强作用,所以也叫做纤维增强复合材料。它在复合材料中的种类最多,应用也最广。纤维复合材料的分类见图 1-1。

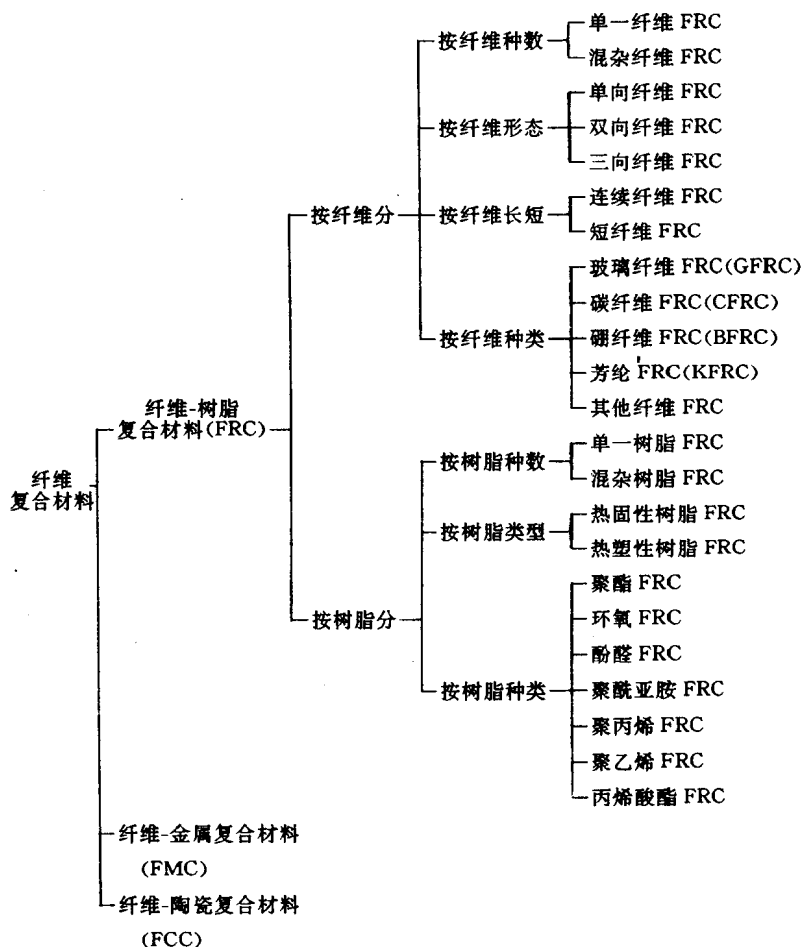


图 1-1 纤维复合材料的分类

1.4 复合材料的特性

从复合材料的分类中,我们已经知道,复合材料种类繁多。不言而喻,不同种类的复合材料具有不同的性能特性。然而,复合材料也有一些共同的特性。聚合物基复合材料(也称为纤维-树脂复合材料)代号为 FRC(或 FRP),由于其固有的优点,是复合材料中发展最迅速、应用最广泛的一类复合材料。我们就以聚合物基复合材料为例,来说明复合材料的性能特性。

1.4.1 聚合物基复合材料的特性

1.4.1.1 比强度、比模量高

聚合物基复合材料的突出优点是比强度及比模量(即强度与密度之比、模量与密度之比)高。图 1-2 示出了各种工程材料的比强度及比模量。图 1-3 则表明主要结构材料温度特性的对比情况。表 1-2 列出了各种材料的力学性能。为使这种对比更有说服力,表中所列性能为正交铺层板的数据,而不是单向层板的数据。就性能数据而言,正交铺层板一般只及单向层板的一半。

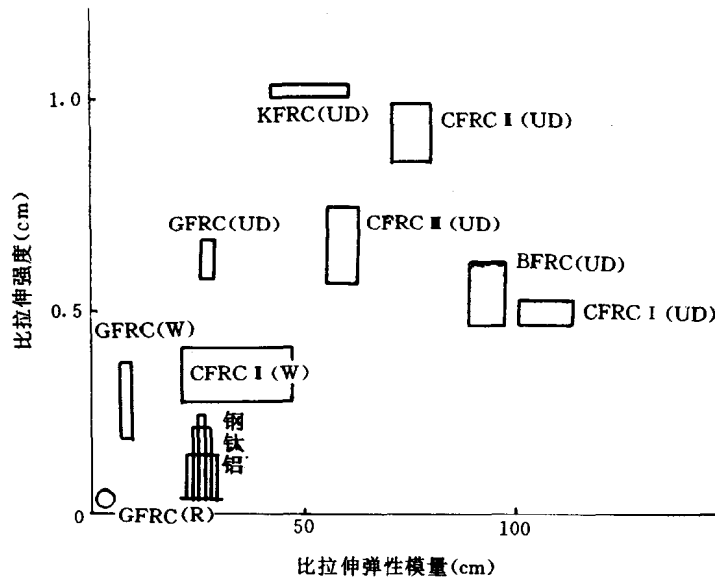


图 1-2 各种工程材料的比强度及比模量

(UD) — 单向; (W) — 织物; (R) — 乱纤维;

I — 高模量纤维; II — 高强度纤维; III — 普通纤维

由图 1-2 及表 1-2 可见, FRC 的密度约为钢的 1/5; 为铝的 1/2。其比强度和比模量都比钢、铝合金高, 甚至高很多。例如高模量碳纤维/环氧复合材料的比强度为钢的 5 倍, 铝合金的 4 倍, 钛合金的 3.5 倍。其比模量是铜、铝、钛的 4 倍。这样, 用 FRC 制件, 在强度和刚度相同的情况下, 结构质量可以减轻, 或尺寸可以比金属件小。这在节省能源、提高构件的使用性能方面, 是现有其他任何材料所不能比拟的。

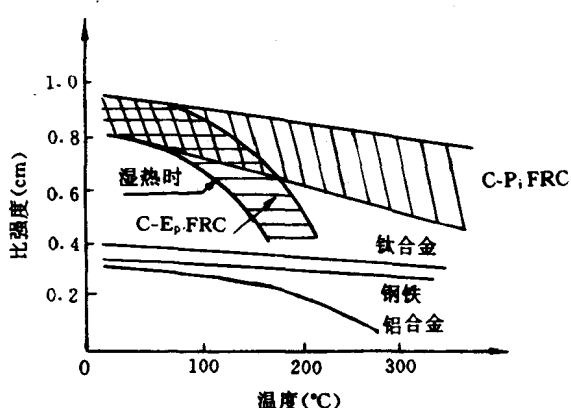


图 1-3 主要结构材料温度特性对比

C-Ep—碳纤维/环氧树脂; C-Pi—碳纤维/聚酰亚胺

疲劳强度极限可为其拉伸强度的 70%~80%。

其他基体的复合材料,凡是用做结构材料的,其比强度、比模量都比原来单一的基体材料高得多。

1.4.1.2 耐疲劳性能好

金属材料的疲劳破坏常常是没有明显预兆的突发性破坏。而聚合物基复合材料中纤维与基体的界面能阻止裂纹的扩展。因此,其疲劳破坏总是从纤维的薄弱环节开始,逐渐扩展到结合面上,破坏前有明显的预兆。大多数金属材料的疲劳强度极限是其拉伸强度的 30%~50%,而碳纤维/聚酯复合材料的疲劳强度极限可为其拉伸强度的 70%~80%。

表 1-2

各种材料的力学性能

材 料	密度 (g/cm ³)	拉伸强度 (GPa)	弹性模量 (×10 ² GPa)	比强度 (×10 ⁶ cm)	比模量 (×10 ⁶ cm)
钢	7.8	1.03	2.1	0.13	0.27
铝合金	2.8	0.47	0.75	0.17	0.26
钛合金	4.5	0.96	1.14	0.21	0.25
玻璃纤维复合材料	2.0	1.06	0.4	0.53	0.20
碳纤维 I /环氧复合材料	1.45	1.5	1.4	1.03	0.97
碳纤维 II /环氧复合材料	1.6	1.07	2.4	0.67	1.5
有机纤维/环氧复合材料	1.4	1.4	0.8	1.0	0.57
碳纤维/环氧复合材料	2.1	1.38	2.1	0.66	1.0
碳纤维/铝复合材料	2.65	1.0	2.0	0.38	0.57

1.4.1.3 减震性好

受力结构的自振频率除与结构本身形状有关外,还与结构材料比模量的平方根成正比。由于复合材料的比模量高,因此,用这类材料制成的结构件具有高的自振频率。同时,复合材料中的基体界面具有吸震能力,使材料的振动阻尼很高,对相同形状和尺寸的梁进行振动试验得知,轻合金梁需 9s 才能停止振动,而碳纤维复合材料梁只需 2.5s 就停止了同样大小的振动。

1.4.1.4 各向异性及性能可设计性

FRC 还有一个突出的特点是各向异性,与之相关的是性能的可设计性。FRC 的力学、物理性能除了由纤维、树脂的种类及体积含量而定外,还与纤维的排列方向、铺层次序和层数密切相关。因此,可以根据工程结构的载荷分布及使用条件的不同,选取相应的材料及铺层设计来满足既定的要求。FRC 的这一特点可以实现制件的优化设计,做到安全可靠、经济合理。

1.4.1.5 材料与结构的统一性

在制造 FRC 材料的同时,也就获得了制件。可一次成形,即使结构形状复杂的大型制件也可能一次成形。这对于一般工程塑料是难于实现的。FRC 的这一特点使部件中的零件数目明显减少,避免了接头过多,显著降低了应力集中。同时,相应地减轻了部件质量,减少了制造工序和加工量,大量节省原材料,缩短了加工周期,降低了成本。

聚合物基复合材料也存在着一些缺点和问题,如材料工艺的稳定性差、材料性能的分散性大、长期耐高温与环境老化性能不好等。此外,抗冲击性能低、横向强度和层间剪切强度都不够好。但这些问题也正是需要研究解决,从而推动复合材料发展的问题。

第二篇 复合材料的基体材料

2 金属材料

2.1 金属的性能与结构

金属材料具备很多可贵的性能。这些性能分为两类：一类称为使用性能，它反映金属材料在使用过程中所表现出的特性，包括机械性能、物理及化学性能等；另一类称为工艺性能，它反映金属材料在加工制造过程中表现出的特性，包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。而这些性能又与金属材料的成分、组织、结构密切相关。

2.1.1 金属材料的物理和化学性能

2.1.1.1 密度

由于各金属原子的相对原子质量，原子半径及与之相应的配位数不同，故而金属材料的密度差别很大，例如，铜为 8.9g/cm^3 ，钢为 7.8g/cm^3 ，钛为 4.5g/cm^3 ，铝为 2.7g/cm^3 。

在近代的工业发展中需要体积小、质量轻、强度高的金属构件，这就要求材料有高的比强度，这对于航天和航海工程更有特殊意义。在各类金属中比强度最高的是钛，钛的强度比钢高，但密度只有钢的 $1/2$ 。

2.1.1.2 电性能

金属传导电流的能力称为导电性。导电性是金属所固有的特性。金属中的自由电子在一定的电位差下作定向运动，产生电流。而正离子对自由电子通过的阻碍产生电阻。

导电性以电导率 σ 来表示，它是电阻率 ρ 的倒数，其值取决于载流子数 n 、每个载流子携带的电荷数 q 和载流子的迁移率 μ ：

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = nq\mu$$

2.1.1.3 热性能

(1) 热容量

材料的温度和它的热含量是两个不同的概念。温度是热活动性的程度，而热含量却代表热能。它们两者可以通过热容量联系起来。在没有体积变化时热容量 C 是每变化 1°C 时热含量的变化，通常在技术参数表中常以比热来代替热容量。材料的比热定义为：该材料的热容量与水的热容量的比值，水的热容量为 $4.186\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

(2) 热传导

金属传导热能的能力称为导热性。高的导热性是金属的特性。热能的传递是靠原子的振

动或电子的运动来完成的。原子的振动为所有固体物质所共有,而自由电子的运动则是金属所独有,这就是金属具有良好导热性的原因。金属中银、铜、铝的导热性最好。纯金属的导热性比合金要好。

(3)热膨胀

金属在受热时会出现膨胀,这是由于原子间相对距离增大的结果。对于一级近似,长度的增加 $\Delta L/L$ 与温度的变化 ΔT 成正比:

$$\Delta L/L = \alpha_L \Delta T$$

式中 α_L ——线膨胀系数。

体膨胀系数 α_v 是联系体积膨胀 $\Delta V/V$ 和温度变化 ΔT 之间的参数,它们的关系与上式所示相同,实际上 α_v 的值是 α_L 的 3 倍。

2.1.1.4 光性能

当金属中自由电子吸收可见光的能量时,使金属具有不透明性。因吸收能量而激发的电子,当它回到原来的低能级时发生辐射,这就使金属具有光泽。

2.1.1.5 磁性能

金属的磁性来源于原子的磁性。原子磁矩是由原子核和环绕原子核运动的电子造成的。原子核的磁矩很小,一般情况下可忽略。电子磁矩又包括轨道磁矩和自旋磁矩两个部分。原子的总磁矩可视作这两部分磁矩的总和。

工业技术上广泛应用的是铁磁性材料,如铁、钴、镍等。铁磁材料只有在铁磁居里温度 θ_f 以下才具有铁磁性。超过这一温度时,其磁性消失。铁的铁磁性居里温度为 768°C 。

2.1.1.6 氧化腐蚀性

金属表面与周围的环境介质发生化学及电化学作用而遭受破坏的现象称为氧化或腐蚀。这一现象十分普遍和严重。它涉及到各个技术领域,并给国民经济带来惊人的损失。因此,抗金属的氧化腐蚀是一项重大而又艰巨的任务。

2.1.2 金属材料的机械性能

2.1.2.1 强度、弹性、塑性

所谓强度是指材料在外力作用下抵抗产生塑性变形和断裂的特性。由于承受载荷形式的不同,可分为拉伸强度、压缩强度、弯曲强度等,各种强度间有一定的联系。我们常以拉伸强度为最基本的强度值。

拉伸强度由拉伸试验测出。在试样两端加一缓慢增加的拉伸载荷,观察记录加力过程中产生的伸长变形,直至试样被拉断为止。图 2-1 为低碳钢的拉伸图。

从图中可看出,当载荷较小时,伸长与载荷成正比例地增加,保持直线关系,这时若除去所加外力,则试样恢复原状,这种变形称弹性变形。载荷超过 P_p 后,拉伸曲线开始偏离直线,保持直线关系的最大载荷是比例极限的载荷 P_p 。当载荷大于 P_p 再卸荷时,试样的伸长只

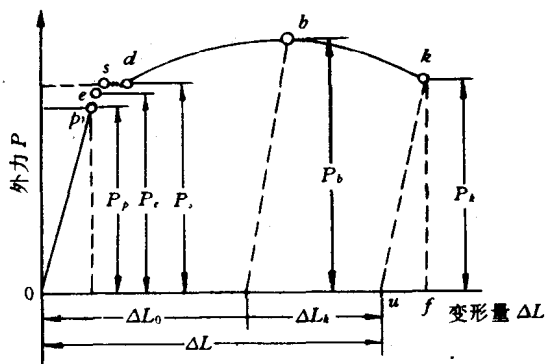


图 2-1 低碳钢的拉伸图

能部分地恢复,而保留一部分残余变形,这种残余变形是塑性变形。载荷增加到一定值时,拉伸图上出现了平台,在载荷不增加的情况下,试样还继续伸长,这种现象叫屈服,屈服阶段的最小载荷是 P_s 。屈服后,金属开始产生明显的塑性变形。当载荷达到一个最大值 P_b 后,试样的某部位截面开始急剧缩小,出现了“缩颈”,不久当载荷达到 P_b 时,试样就在“缩颈”处断裂。 P_b 是从开始加载到断裂时所加的最大载荷。

综上所述,金属在外力作用下,变形过程可分为:弹性变形、弹塑性变形和断裂三个阶段。弹性变形在金属的组织性质上不产生任何明显的永久变化。这是由于施加的载荷能量未能逾越原子间的键能束缚,仅仅引起金属中原子相对轻微的和完全可逆的位移;塑性变形则是随着外载荷能量的增加,致使金属内某一原子面之间产生不可逆的相对滑移,但正离子仍和自由电子保持着结合键,而断裂是起源于位错的微裂隙,在外加载荷能量足以破坏金属原子间的结合键所自发生长引致的。

根据拉伸图,可以得出材料的强度与塑性指标。

强度指标最主要的有两个:一个是抗拉强度(强度极限),用 σ_b 表示。它表示材料抵抗外力而不致断裂的最大应力,即:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

另一个是屈服强度(屈服极限),用 σ_s 表示。它表示材料抵抗开始产生大量塑性变形的应力,即:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_0 ——试样原始截面积(mm^2)。

外力卸除后能立即恢复的变形称弹性变形。拉伸时,试样单位长度的伸长量称应变,即:

$$\text{应变}(\epsilon) = \frac{\text{伸长量 } \Delta L}{\text{原始长度 } L_0}$$

大多数金属在弹性变形阶段的应力与应变成正比关系,即符合虎克定律:

$$\sigma = E\epsilon$$

式中 E ——弹性模量(MPa)。

弹性模量 E 可以看成是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标,又称刚度。弹性模量愈大,材料的刚度愈大,在一定应力下产生的弹性变形就愈小。

金属的塑性指标有两个,它们都表示材料在外力作用下产生塑性变形的能力。一个是延伸率,用 δ 表示,即:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

另一个是断面收缩率,用 ψ 表示,即:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样标距原始长度(mm);

L_1 ——试样拉断后的标距长度(mm);

F_0 ——试样原始截面积(mm^2);