

(美) Terry Richardson 著

复合材料设计指南

杨进勇 魏需巧 刘志刚 朱伯铨 李其祥 译
杨学忠 庄 瑛 校

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

复合材料设计指南/(美)Terry Richardson 著. 杨进勇等译.

——武汉:武汉工业大学出版社. 1997. 1

ISBN 7-5629-1209-2

I. 复…

II. ①T… ②杨…

III. 工程材料:复合材料-设计-指南

IV. TQ136

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路 14 号 邮政编码 430070)

全国各地新华书店经销

冶金部中南金刚石工业公司印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:11.5 字数:300 千字

1996 年 12 月第 1 版 1997 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册

定价:18.80 元

(如有印装质量问题,请与承印厂调换)

序 言

材料科学的发展是推动社会进步的重要因素之一。在材料科学领域,复合材料作为一个新的分支,虽然其“资历较浅”,但是,它却以优越的性能和迅猛的发展,受到人民极大的关注。复合材料的性能可以根据使用要求进行设计,随着新型复合材料的不断涌现,使得用传统材料未能解决的难题一一得到了解决(如轻质、高强、防腐、耐高温等),从而推动了科学技术的进步,促进了材料科学工业的发展。近年来,复合材料的研究和工业生产发展很快,科学家预言,21世纪将是复合材料的时代。

复合材料的种类很多,《复合材料设计指南》一书主要讲述了聚合物基复合材料,其内容包括原材料选择、成型工艺、模具及产品的计算机辅助设计、性能检测及安全防护等。本书的特点主要体现在:

1. 较为详细地介绍了可用于复合材料的新型聚合物基体,特别是对热塑性聚合物基体的讲述更为全面。

2. 较为全面地介绍了50种复合材料成型工艺,并着重讲述了热塑性复合材料的成型工艺,这在国内已出版的复合材料类著作中独具特色。

3. 系统地阐述了计算机辅助设计在复合材料产品设计、模具设计及制造中的应用。

上述三点,是本书有别于其它复合材料著作的特点。

本书关于热塑性复合材料的论述,对于企业制订复合材料产品的发展方向和从事复合材料生产的技术人员及教学工作者有很大的参考价值。

本书以教材的形式编写,概念清晰,资料新颖齐全,语言通顺流畅。作为本书的第一读者,愿向广大读者推荐,祝你开卷受益。

刘雄亚

1996年10月

译者的话

随着材料科学的发展,复合材料及其制品的研究、开发和应用越来越受到了人们极大地关注。一方面,复合材料以其优越的综合性能在许多新兴的领域中找到了自己的位置,确定了其发展的优势;另一方面,复合材料作为一些传统材料的替代材料,也正在为广大人们所接受。为了促进我国复合材料事业的发展,我们组织翻译了《Composites: A Design Guide》一书,希望能够对我国从事复合材料研究、生产和应用的人们有所帮助。

译者采用《复合材料设计指南》的书名,是基于复合材料中原材料的可设计性、结构的可设计性及成型工艺的可设计性来考虑的。同时,由于原著中较为系统地介绍了58种基体材料、50种成型工艺及计算机辅助设计在复合材料模具、产品及生产中的应用等。所以,本书的书名也是原著特色的体现。

本书由冶金部武汉设计研究院杨进勇,武汉冶金科技大学魏需巧、刘志刚、朱伯铨、李其祥等翻译;全书由魏需巧统稿,由武汉工业大学杨学忠、庄瑛校核。

作为本书的第一读者,武汉工业大学刘雄亚教授为

本书写了序。

本书在翻译过程中,得到了武汉工业大学图书馆、武汉工业大学出版社、冶金部武汉设计研究院及武汉冶金科技大学化工系、材料学院、冶金学院许多同志的热情支持;武汉工业大学李鹏、武汉汽车工业大学郭齐梅等同志也提出了许多宝贵的意见,在此一并致谢!

由于译者水平所限,不当之处在所难免,请广大读者批评指正。

译者

1996年10月18日

前 言

《复合材料设计指南》是介绍复合材料的基础性教材。适合于从事复合材料设计、复合材料加工及选用复合材料的人们作为教材或供自学参考之用。

凯特因·查尔斯(Chariles Kettering)说过：“机遇青睐掌握了知识的人们。”本书提供了复合材料加工和应用方面的最新信息。正如托弗勒·艾温(Alvin Toffler)所说，我们必须在科学技术的第三次浪潮中，设计、制造和应用复合材料。在应用复合材料方面，许多新的、有创造性的设想已经变成了现实。

作为一类重要的工程材料，复合材料已经出现好多年了。完全可以相信，复合材料会比其它许多工程材料得到更加迅速的发展。金属基、陶瓷基复合材料也是一类重要的工程材料，但本书仅限于讨论聚合物基复合材料。

聚合物基复合材料需要进行工程设计和生产，由于专业技术人员的缺乏，使得很多设计受到限制，甚至导致生产的失败。本书可作为从事复合材料的设计与生产人员学习及培训的教材，也是从事复合材料加工与选择的工程技术人员的一本有价值的参考书。

本书提供的一些专利概要或信息仅供参考。

目 录

第一章 复合材料的定义	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 复合材料的定义	(5)
1.3 复合材料的分类	(6)
1.3.1 纤维状复合材料	(6)
1.3.2 片状复合材料	(7)
1.3.3 颗粒型复合材料	(7)
1.4 基体	(7)
1.4.1 碳基体	(8)
1.4.2 陶瓷基体	(8)
1.4.3 玻璃基体	(8)
1.4.4 金属基体	(8)
1.4.5 聚合物基体	(10)
1.5 增强与增强作用	(10)
1.6 层压与层压作用	(12)
第二章 聚合物的选用	(13)
2.1 引言	(13)
2.2 聚合物的分类	(14)
2.2.1 按来源分类	(14)
2.2.2 按热反应分类	(16)
2.2.3 按聚合反应分类	(17)
2.2.4 按分子结构分类	(22)
2.2.5 按晶体结构分类	(24)

2.3 热塑性聚合物.....	(27)
2.3.1 乙缩醛共聚物	(28)
2.3.2 乙缩醛均聚物(POM)	(29)
2.3.3 丙烯酸系塑料	(30)
2.3.4 丙烯酸酯-苯乙烯-丙烯腈共聚物(ASA)	(32)
2.3.5 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)	(33)
2.3.6 丙烯腈-氯化聚乙烯-苯乙烯(ACS)	(33)
2.3.7 纤维素塑料	(34)
2.3.8 乙缩醛聚合物	(36)
2.3.9 乙烯-丙烯酸乙酯共聚物(EEA)	(36)
2.3.10 乙烯-丙烯酸甲酯共聚物(EMA)	(36)
2.3.11 乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(EVA)	(36)
2.3.12 氟塑料.....	(37)
2.3.13 离子交联聚合物.....	(40)
2.3.14 腈类聚合物.....	(40)
2.3.15 聚异质同晶物.....	(41)
2.3.16 聚酰胺(PA)	(41)
2.3.17 聚酰胺-酰亚胺.....	(43)
2.3.18 聚芳酯.....	(44)
2.3.19 聚芳砜.....	(44)
2.3.20 聚丁烯(PB)	(44)
2.3.21 聚对苯二甲酸二丁酯(PBT)	(45)
2.3.22 聚碳酸酯(PC)	(46)
2.3.23 芳香聚酯.....	(47)
2.3.24 聚醚醚酮(PEEK)	(47)
2.3.25 聚酰胺酯.....	(48)
2.3.26 聚醚砜(PES)	(48)
2.3.27 聚乙烯(PE)	(49)
2.3.28 聚对苯二甲酸乙二酯(PET)	(52)

2.3.29	聚酰亚胺(热塑性).....	(53)
2.3.30	聚甲基丙烯酸甲酯.....	(53)
2.3.31	聚甲基戊烯.....	(53)
2.3.32	聚戊烯(PPE).....	(53)
2.3.33	聚苯撑氧(PPO).....	(54)
2.3.34	聚苯撑硫(PPS).....	(55)
2.3.35	聚丙烯(PP).....	(55)
2.3.36	聚苯乙烯(PS).....	(57)
2.3.37	聚砜.....	(57)
2.3.38	聚醋酸乙烯酯.....	(57)
2.3.39	聚乙烯醇(PVAI).....	(59)
2.3.40	聚乙烯醇缩丁醛(PVB).....	(59)
2.3.41	聚氯乙烯(PVC).....	(59)
2.3.42	聚氟乙烯(PVF).....	(60)
2.3.43	聚乙烯醇缩甲醛.....	(60)
2.3.44	聚偏二氯乙烯(PVDC).....	(61)
2.3.45	聚偏二氟乙烯(PVDF).....	(61)
2.3.46	烯烃改性的苯乙烯-丙烯腈共聚物(OSA).....	(61)
2.3.47	苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN).....	(61)
2.3.48	苯乙烯-丁二烯塑料(SBP).....	(62)
2.3.49	苯乙烯-顺丁烯二酸酐共聚物(SMA).....	(62)
2.4	热固性聚合物.....	(63)
2.4.1	醇酸树脂.....	(65)
2.4.2	烯丙树脂.....	(66)
2.4.3	氨基树脂.....	(67)
2.4.4	环氧树脂(EP).....	(69)
2.4.5	酚醛树脂.....	(71)
2.4.6	聚酯树脂.....	(73)
2.4.7	热固性聚酰亚胺.....	(76)

2.4.8 聚氨酯(PU)	(76)
2.4.9 硅树脂(SI)	(78)
第三章 添加剂的选择	(80)
3.1 引言	(80)
3.2 添加剂	(81)
3.2.1 抗氧剂	(81)
3.2.2 抗静电剂	(82)
3.2.3 着色剂	(82)
3.2.4 偶联剂	(83)
3.2.5 阻燃剂	(84)
3.2.6 发泡剂	(84)
3.2.7 热稳定剂	(85)
3.2.8 抗冲击改性剂	(85)
3.2.9 润滑剂	(85)
3.2.10 固化剂	(86)
3.2.11 增塑剂	(87)
3.2.12 防腐剂	(87)
3.2.13 加工助剂	(88)
3.3 颗粒状添加剂	(88)
3.4 纤维增强材料	(92)
3.4.1 界面粘结	(94)
3.4.2 纤维的性质	(102)
3.4.3 纤维的尺寸与形状	(102)
3.4.4 纤维的用量	(107)
3.4.5 加工工艺	(110)
3.4.6 纤维的取向	(112)
3.5 层压材料	(117)
3.5.1 层压板	(119)
3.5.2 夹芯材料	(121)

第四章 复合材料成型工艺	(124)
4.1 引言	(124)
4.2 模塑工艺	(124)
4.2.1 注塑	(126)
4.2.2 共注塑	(128)
4.2.3 反应注塑	(129)
4.2.4 模压	(131)
4.2.5 压延	(132)
4.2.6 吹塑	(132)
4.2.7 挤出模塑	(135)
4.2.8 层压工艺	(139)
4.2.9 增强工艺	(149)
4.3 铸塑工艺	(179)
4.3.1 简易铸塑	(179)
4.3.2 薄膜铸塑	(181)
4.3.3 热熔体铸塑	(181)
4.3.4 糊料铸塑和静态铸塑	(181)
4.3.5 浸渍铸塑	(183)
4.4 热成型工艺	(184)
4.4.1 凹模真空成型	(186)
4.4.2 凸模真空成型	(187)
4.4.3 对模模塑成型	(188)
4.4.4 压缩空气加压模塞助压真空回吸热成型	(189)
4.4.5 模塞助压真空热成型	(189)
4.4.6 真空回吸热成型	(192)
4.4.7 压缩空气加压真空回吸热成型	(192)
4.4.8 固定板材接触加热压缩空气加压成型	(192)
4.4.9 滑溜成型	(192)
4.4.10 自由成型	(192)

4.4.11 机械成型	(193)
4.5 膨胀工艺	(195)
4.6 涂层工艺	(204)
4.6.1 手工铺叠涂层	(205)
4.6.2 喷涂	(205)
4.6.3 浸渍涂层	(206)
4.6.4 挤涂	(206)
4.6.5 压延涂层	(208)
4.6.6 粉末涂层	(208)
4.6.7 流化床涂层	(209)
4.6.8 静电床涂层	(209)
4.6.9 传递涂层	(209)
4.6.10 金属涂覆	(210)
4.6.11 辊涂	(210)
4.6.12 刷涂	(211)
4.7 二次加工	(211)
4.7.1 粘接	(212)
4.7.2 连接	(213)
4.7.3 机械紧固	(216)
4.7.4 摩擦配合	(216)
4.8 辐射工艺	(217)
4.8.1 损伤	(218)
4.8.2 改性	(218)
4.8.3 聚合和接枝	(218)
第五章 模具和模具参数	(222)
5.1 引言	(222)
5.1.1 计算机辅助模具制造(CAMM)	(222)
5.1.2 计算机集成制造(CIM)	(222)
5.1.3 计算机辅助设计(CAD)	(224)

5.1.4	计算机辅助制造(CAM)	(225)
5.1.5	计算机辅助工程(CAE)	(226)
5.1.6	模具类型	(227)
5.2	金属模具	(229)
5.2.1	铝	(230)
5.2.2	铜	(230)
5.2.3	锌	(231)
5.2.4	钢	(231)
5.3	石膏模具	(235)
5.4	聚合物模具	(239)
5.5	木模	(242)
5.6	混合模具	(243)
第六章	复合材料制品设计参数的确定	(245)
6.1	引言	(245)
6.2	基本设计惯例	(246)
6.3	原材料选择的依据	(249)
6.3.1	功能性因素	(250)
6.3.2	工艺参数	(256)
6.4	生产所需考虑的问题	(263)
6.5	设计所需考虑的问题	(265)
6.5.1	设计分析	(266)
6.5.2	安全系数	(268)
6.5.3	基本设计实例	(269)
6.5.4	机械加工	(300)
6.6	标准、技术规格及其来源	(304)
6.7	性能检测	(307)
6.8	产品应用	(310)
第七章	安全卫生及劳动保护	(316)

7.1 引言	(316)
7.2 人身安全	(317)
7.3 安全情报来源	(322)
附录 A 名词和缩写	(327)
附录 B 温度转换表	(332)
附录 C 重量、长度和体积当量	(334)
附录 D 吋等量关系和拔模角度	(337)
附录 E 相对密度	(339)
附录 F 圆直径和温度/压力	(341)
文献目录	(344)

第一章 复合材料的定义

1.1 引言

数世纪以来,工程技术的发展一直依赖于发现和利用新型的结构材料。新材料在被使用的同时亦会显示出某些局限性,这就促使人们去探索更新的自然或人造资源。

木材既轻且硬却易燃。木材有许多优良的特性,曾经是应用最为广泛的工程材料。不过,木材是一种自然生成物,其性能有一个严重的缺陷。现代的设计规范要求材料具有批量可靠性。我们可以期待金属、陶瓷及塑料的性能具有这种可靠性,但是木材的性能却是因批次而异的,这是因为木材不是一种各向同性(即在任何方向上性质相同)的物质,而是一种复杂的材料。木材是极端各向异性的,它在沿着纹理的方向上具有较高的强度和韧性。早期的材料如金属与陶瓷可以认为是各向同性的,在其中加入肋条、增强剂、层压材料或瓦楞后可使这些材料的强度具有各向异性。

陶瓷及某些金属具有很高的刚性,但是却很重。数世纪以来,制造陶瓷器件和玻璃的工艺基本上没有变化,其产品也与数千年前中国人所使用的基本相同。现代技术及陶瓷与玻璃的新工艺正在提供新一代的高性能材料以满足从宇宙飞船的防护层到汽车引擎部件的需求。

自然生成的聚合物(如虫胶、树脂、沥青、焦油、木质素等)易于成型,但强度极低。

社会的需求总是不断地追求强度高、韧性好、质量轻的材料。在这种探求中发现,铜这种均匀材料的硬度可以通过机械成型来

提高。由于金以天然块矿出现并且很容易加工成型为各种有用的产品而受到高度重视。铜和金的耐久性和强度还可以通过添加其它金属或金属化合物来提高。几个世纪之前,人们就懂得了合金的概念,并用它来改善材料的性能以满足对高级材料日益增长的需求。直到今天人们仍然在对钢、铝、钛及其它金属的合金进行改进。可以说,人们对天然材料的重大改进迄今已经历了几个发展阶段:青铜时代、钢铁时代以及本世纪中叶出现的塑料时代。尽管在人类历史的早期就已经懂得了将两种特性互补的材料结合在一起,但是现代的设计师、工程师和其他的人员对于利用这一概念的价值却显得比较迟钝。事实上可以说,塑料工业直到 70 年代还处于发展的“青铜时代”。直到那时,大多数开发的目标仍然是发现新的单体或均聚物。从 1830 年开始,化学家首次制成了合成塑料。这种材料的研制是为了提供比天然聚合物性能更好的材料,其中有些是偶然发现的。

提高聚合材料性能的一个必然步骤是对天然树脂的改性。纤维素、蛋白质、明胶、橡胶的改良对于聚合物及其产品的应用开发是十分重要的贡献。1948 年制成了丙烯腈—丁二烯—苯乙烯 (ABS) 塑料,其中三种组分比例可以改变,从而获得各种不同的特性。有人将 ABS 视作塑料家族的成员,如同聚苯乙烯、聚氯乙烯等。然而它们是由三种单体构成的三元共聚物。如今,聚合物化学家和工程师正在将许多合成聚合物组合在一起(在一定的意义上说是合金化)以提高性能或降低加工成本。

在聚丙烯中加入苯乙烯可以降低成本,许多隔离塑料都是 ABS 的化合物,这些材料可以阻止或限制气体穿透容器壁。毫无疑问,我们将会继续看到通过多元共聚作用而获得的性能不断改进的聚合物材料。

将两种或多种材料组合在一起而得到一种性能提高了的新材料,这种思想要比改变聚合物链的想法古老得多。人类很早以前就