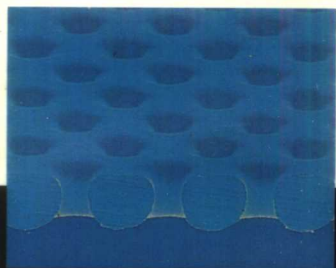


立体织物

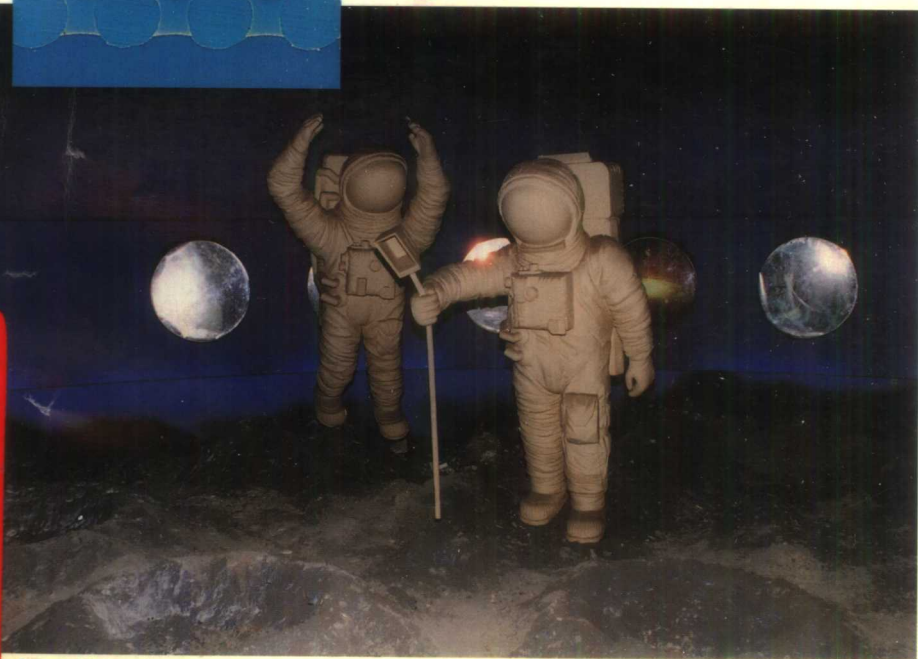
与

LITI ZHIWU YU
FUHE CAILIAO

复合材料



道德锐 吴以心 李兴国 编著



中国纺织大学出版社

立体织物与复合材料

道德银 吴以心 李兴国 编 著

中国纺织大学出版社

责任编辑 邵 静

封面设计 殷淑荣

立体织物与复合材料

道德锐 吴以心 李兴国 编著

中国纺织大学出版社出版

(上海市延安西路 1882 号 邮编 200051)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张 7.5 字数: 182 千字

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

印数 001—3000 本

ISBN 7-81038-159-8/TS·15

定价: 12.00 元

如遇印装质量问题请拨打 52815253×3019 地址: 云岭西路 400 弄 251 号

内 容 提 要

立体织物与复合材料是高科技的新产品,应用范围非常广泛。

本书系统论述立体织物复合材料的性能与制造过程,重点叙述立体织物复合材料的发展、特点和应用,立体机织物预制件的织造原理、结构分析与加工设备,立体编织物预制件的编织过程,编织物的结构性能分析和加工设备,以及立体织物复合材料的成型工艺。本书汇集了国内外在此领域内的许多理论与经验,力图从理论和实践两个方面使读者对该新技术有个系统的认识。

本书可作为有关大专院校相关专业的教材和教学参考书,也可供科技人员阅读和参考。

本书出版由上海发展汽车工业教育基金会资助

前 言

纵观人类社会的发展过程,可明显地看到材料的发展对人类社会的发展起着巨大的推动作用。20 世纪 50 年代以来,各种高性能的现代复合材料不断涌现,纤维增强复合材料是其中的一个重要方面,它们首先运用于航天和航空领域。人类已经进入了向宇宙探测为标志的高新技术的新纪元,在纤维增强复合材料中,立体织物增强复合材料具有更优越的性能,而得到特别重视,有了迅猛的发展,并且它已推广到许多工业部门,必将有更大的发展和更广泛的应用。

本书编写的目的是汇总国内外在此领域的许多理论和经验,并结合编者的工作实践,向读者系统介绍立体织物复合材料的预制品加工与复合成形工艺过程,力图从理论和实践两个方面使读者对该新技术有个系统的认识。该书可供科技人员阅读和参考,也可作有关大专院校相关专业的教材和教学参考书。

本书的编写分工为:第一章由李兴国、道德锬编写,第二章由吴以心编写,第三章由道德锬编写,第四章由李兴国编写。李灵忻参加了本书大纲的讨论,全书由道德锬负责主编。由马莉萍协助描图。

我们希望《立体织物与复合材料》一书的出版能对我国的立体织物增强复合材料的研究、发展和教学有一定的帮助。由于我们水平有限,调查研究不够,书中误漏欠妥之处在所难免,敬请读者批评指教。

编 者

1997.7

责任编辑:邵 静
封面装帧:殷淑荣
封面摄影:殷淑荣



立体织物 与 复合材料

ISBN 7-81038-159-8



9 787810 381598 >

ISBN7-81038-159-8/TS·15

定价 12.00 元

立体织物与复合材料

LITI ZHIWU YU FUHE CAILIAO

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 复合材料与立体织物的发展.....	1
第二节 复合材料的性能特点.....	4
第三节 复合材料的应用.....	7
第二章 立体机织物的织造与结构分析	9
第一节 概述.....	9
第二节 立体机织物的织造原理与设备	12
第三节 各种型材立体织物的织造与结构	35
第四节 三维正交立体织物的结构与纤维体积百分率	46
第三章 立体编织物的制造与结构性能分析	62
第一节 立体编织过程	62
第二节 立体编织物的结构性能分析	74
第三节 立体编织设备.....	153
第四章 立体织物复合材料成型工艺	170
第一节 常用增强纤维与基体材料.....	170
第二节 复合材料成型工艺的范畴与特点.....	203
第三节 低压成型工艺.....	208
第四节 模压成型工艺.....	216
第五节 RTM 树脂传递模压法	221
第六节 其它成型工艺.....	223
参考文献	226

第一章 概 论

第一节 复合材料与立体织物的发展

追溯复合材料的历史犹如对文明生活本身发展的一个有趣回顾。人类的文明史也包含材料发展史,任何一种新材料的发现和发现,都对人类社会产生划时代的影响。

人类在很早以前就使用了复合材料。大约六千年前的陕西半坡人就掌握了用草筋增强泥坯作为墙体材料。在汉代修建的古长城瞭望塔中也发现了类似的复合材料。中国古代的游牧民族在大约公元前一千年发明了用复合材料制成的弓,这种弓是由木片或木材和角质物制成。

从材料发展的角度来看,第一代是天然材料(如石块、泥土、竹、木、茅草等),第二代是冶炼材料(如各种金属),第三代是合成材料(如各种高分子聚合物),第四代则是先进复合材料。总结材料发展的历史,特别是近三十年来,对于材料的研究由靠经验和摸索的办法发展到不仅可以通过分子合成、材料的改性及多种材料的复合得到新材料,而且还可以从分子结构设计来研制预定性能的材料,形成较完整的材料科学体系。

1940年世界上第一次用玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂,采用手糊成型工艺和抽真空固化方法制成了军用飞机的雷达罩。1942年美国人用手糊成型工艺制造了第一艘玻璃钢渔船。1946年美国人发明了使用连续玻璃纤维缠绕生产压力容器的工艺方法。1950年环氧树脂的工业化生产大大推动了复合材料的发展。我国于1958年用手糊成型工艺制造了第一艘玻璃钢游艇。1959年

美国联合碳化物公司实现了从人造丝制造碳纤维的工业生产,碳纤维的出现和发展是复合材料发展史上的又一个里程碑。20世纪70年代出现了芳纶(kevlar)纤维增强复合材料、硼纤维增强复合材料、碳化硅纤维增强复合材料、氧化铝纤维增强复合材料等一系列先进复合材料。复合材料的迅速发展也推动了复合材料成型工艺的发展,出现了多种成型工艺。

现代复合材料工业开始于20世纪40年代,迄今不足半个世纪,但从其发展速度及规模、应用的范围和产量、对现代科技及生产进步的影响和推动,以及从其自身的科学研究的深度与广度诸方面来看,现代复合材料领域中所取得的成就,超过了人类历史上所曾经使用过的任何其它类型的材料。特别是20世纪70年代以来,随着宇航、导弹、原子能、高速运载工具等现代技术的迅速发展,现有的钢铁及合金已很难满足要求。例如,在设计导弹、人造卫星、飞机等的承载件时,理想的结构材料应具有重量轻、强度和模量高以及耐高温等优点。人们常用强度和模量同密度的比值来表示这一综合性能,通常称为比强度和比模量。然而,即使是比普通钢的强度高七倍左右的高强度钢,由于密度大,其比强度仍然比较低,要增加构件的强度就必须同时增加其重量,这对高速运动部件来说就不能满足要求了。

作为复合材料的增强材料,碳素纤维的比强度比钢和铝合金高五倍,其比模量也高三倍以上。并且,碳纤维及其增强复合材料还具有一般碳材料的各种优良特点,如密度小、耐热、耐化学腐蚀、耐热冲击、热膨胀小、耐烧蚀等,在2000℃以上的高温惰性环境中,碳材料是唯一强度不下降的材料。因此,由碳纤维增强的树脂、陶瓷、金属等复合材料的研制和应用得到了迅速发展。

几乎所有纺织加工的产品都可以用于复合材料,例如两向平面机织物、三向平面机织物、立体机织物、平面针织物、非织造布产品、平面编织物、立体编织物、连续复丝、连续纱线、短纤维等。

图 1-1 表示了复合材料按增强纤维的结构进行的分类。

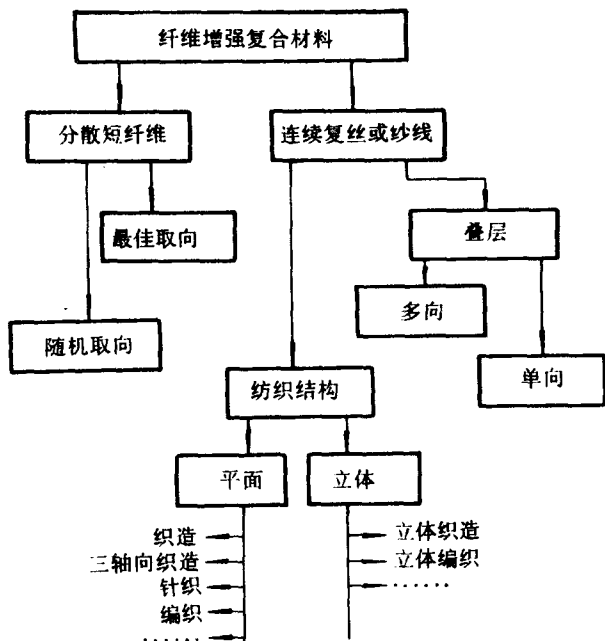


图 1-1 纤维增强复合材料按纤维结构分类图

分散短纤维不管是随机取向或以最佳取向分布所制成的复合材料，其机械性能都比不上以连续复丝或纱线所制成的复合材料。对于用连续复丝或纱线进行叠层所制成的复合材料，不管连续复丝或纱线以一个方向排列或多方向排列，以及用平面机织物、平面针织物、平面编织物等进行叠层所制成的复合材料，这些复合材料都存在一个共同的缺点，表现在厚度方向机械性能差，这是由于在载荷的反复作用下层与层之间脱开所造成。

而立体机织物和立体编织物显著地提高了厚度方向的机械性能。由于它们结构的整体性，在厚度方向的拉力和与厚度方向垂

直的剪切力作用下,有很好的机械强度,并将发生裂缝的可能性降低到最小程度。

复合材料是由两种或两种以上连续相物质进行复合而制成,其中一相起增强作用,称为增强材料,另一相对增强材料起敛集、粘附作用,称为基体材料。对于纤维增强材料,立体织物是近三十年发展起来的性能最优越的结构。它不仅可以制成矩形截面的复合材料预制件,还可以制成由矩形截面组合而成的预制件,例如工字型、槽钢型、角钢型等预制件,以及还可以制成圆管形、锥管形、凸面管等结构形状的预制件,甚至它可以直接制造出最终产品复杂形状的预制件。

立体织物增强复合材料开始主要应用于航空、航天领域,特别是军用航空、航天领域,例如用立体织造技术生产的碳-碳复合材料应用于返回式卫星的热屏蔽层、喷气发动机的喉管、火箭喷管及其它高温部件,现已推广到发动机、汽车、机械、化工、纺织等许多工业部门,例如涡轮机零件、活塞环、制动器、扭杆、转子轴、自行车三角架、片簧等等。

第二节 复合材料的性能特点

1. 比强度、比模量大

材料的比强度、比模量是材料综合性能优劣的指标之一。表1-1对各种材料的力学性能作了比较,从表中可以看出,高模量碳纤维增强环氧复合材料的比强度为钢的5倍,为铝合金的4倍,为钛合金的3.5倍。其比模量是钢、铝、钛的4倍。但这些指的是沿纤维方向的特性,实际结构是纤维增强聚合物的双向或多向的复合材料,这种材料的比强度及比刚度虽较上述数据有所下降,但还具有其他许多优点,仍是轻质高强的先进材料。

表 1-1 各种材料的比强度和比模量

材 料	密度 g/cm ³	抗拉强度 × 10 ³ MPa	弹性模量 × 10 ⁵ MPa	比强度 × 10 ⁷ cm	比模量 × 10 ⁹ cm
钢	7.8	1.00	2.06	0.13	0.27
铝合金	2.8	0.46	0.74	0.17	0.26
钛合金	4.5	0.94	1.12	0.21	0.25
玻璃纤维复合材料	2.0	1.04	0.39	0.53	0.20
碳纤维Ⅱ/环氧复合材料	1.45	1.47	1.37	1.03	0.97
碳纤维Ⅰ/环氧复合材料	1.6	1.05	2.35	0.67	1.5
有机纤维/环氧复合材料	1.4	1.37	0.78	1.0	0.57
硼纤维/环氧复合材料	2.1	1.35	2.06	0.66	1.0
硼纤维/铝复合材料	2.65	0.98	1.96	0.38	0.75

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。纤维增强复合材料在疲劳过程中,裂纹先在纤维或基体薄弱处出现,扩展到结合面,损伤逐渐累积,导致破坏。这表明纤维增强复合材料具有较好的损伤容限和疲劳寿命。碳纤维增强复合材料的疲劳强度极限是其拉伸强度的 70%~80%,而金属的疲劳强度极限仅为其拉伸强度的 30%~50%。

3. 力学性能的可设计性

在纤维增强的复合材料中,纤维是主要的承载元件,基体的作用是把纤维按一定位置排列固定,将载荷传递到每根纤维,因此可根据结构受力条件和使用要求,选择性能不同的纤维和基体,以及它们的体积百分比,设计纤维铺设方向、叠层,甚至立体结构,以及结构的形状和几何尺寸,以使结构在性能、重量和成本诸方面的指标达到最优化。

4. 减震性好

复合材料的比刚度高,因此它的构件具有很高的自振频率,可防止共振的发生。纤维增强聚合物复合材料的界面或层间存在内摩擦,聚合物基体又具有粘弹性,因此这种复合材料具有比金属大

得多的内阻尼,减振效率高。对相同形状和尺寸的梁进行试验得知,轻合金梁需 9 秒才能停止振动的情况下,而碳纤维复合材料梁只需 2.5 秒就停止了同样大小的振动。

5. 容伤性能好

复合材料中有大量的增强纤维,过载时先是薄弱环节部分的纤维发生断裂,使得应力重新分布,然后通过基体传给未破断纤维,因此不影响整体结构继续承载,仍能安全使用。

6. 耐高温或低温和热稳定性好

碳纤维增强聚酰亚胺等复合材料,可在 $250^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 条件下使用,高温蠕变变形小。碳—碳复合材料具有良好的耐热冲击性能,其短时使用温度可达 3000°C ,且仍保持一定的机械性能。此类材料可用作火箭发动机的喉衬,导弹弹头,航天飞机的防辐射绝热层。在低温条件下,先进复合材料强度、韧性和疲劳性能等都较好。

7. 成型工艺性能好

复合材料可采用低压手糊成型、模压成型、缠绕成型、注射成型和挤拉成型等各种方法制成各种形状的产品,加工量小,节省材料和能源,减少模夹具,加工周期短。

8. 生物相容性好

碳纤维复合材料与人体软组织、骨骼和血液的相容性比金属好,可用以制造人工韧带、骨骼、假肢、心脏瓣膜和体外循环的血液过滤器等。

9. 其它特性

- (1) 耐烧蚀性好;
- (2) 良好的摩擦性能;
- (3) 高度的电绝缘性能;
- (4) 优良的化学稳定性和耐腐蚀性;
- (5) 功能复合材料还有特殊的光、电、磁特性。

聚合物基复合材料还存在一些特点,如材料工艺的稳定性差,因而造成制品性能重复性差,长期耐高温与环境老化性能不好。上述问题的研究解决将进一步推动复合材料向前发展。

第三节 复合材料的应用

复合材料范围广、产品多,在国防工业和国民经济各部门中都有广泛的应用。

1. 在石油化工方面应用

不饱和聚酯树脂基复合材料(玻璃钢)具有耐酸、碱、油、有机溶剂等腐蚀性能,耐腐蚀性大大优于钢材、铜、铅、硬木等,因此用作各种化工管道、阀门、泵、贮槽、塔器及反应器内衬等,现已成为石油化工设备防腐蚀重要材料。

2. 在交通运输方面应用

纤维增强的复合材料具有重量轻、比强度高,抗微生物作用以及制造工艺简单等优点,已在轮船、汽车、铁路车辆,飞机、宇航设备等制造工业有了日益广泛的应用。

例如,制造小型船艇的船体,如巡逻艇、扫雷艇、赛艇、渔船,还有深水探测器等。在汽车工业上已用 SMC 复合材料制成轿车外壳及配件。铁路车辆上已制成车身、窗门、窗框、水箱等。在飞机上的应用如机翼、尾翼、操纵面的蒙皮、喷嘴、油箱、螺旋桨等等。

3. 在电气工业方面应用

玻璃纤维增强的复合材料具有优良的电绝缘性能,可以制成各种开关装置,电缆输送管道、高频绝缘子、印刷电路板、电机防腐绝缘材料,以及电讯工程上制造各种类型雷达罩等。

4. 在建筑材料方面应用

玻璃纤维增强复合材料是一种轻质高强度的结构材料,具有隔热、透光、防水等特点,已成为现代新型建筑结构材料。如用作

农业透光暖房的透明玻璃钢瓦楞板(波形瓦),蜂窝材料增强的透明玻璃钢隔墙板,一般门窗框架,落水斗管,以及人造大理石、人造玛瑙全套卫生间浴缸和各种器具等。

此外,在机械工业中用作各种发电机外壳、皮带轮防护罩等,在军工方面用于火箭外壳、导弹壳体、火箭筒、枪托、雷达罩等等。