

大丝束碳纤维复合材料力学性能研究

刘宝锋¹, 陈绍杰², 李佩兰¹

(1. 北京航空材料研究院, 北京 100096; 2. 沈阳飞机设计研究所, 辽宁 沈阳 110035)

摘要: 本文研究了大丝束碳纤维(48K)复合材料的常规力学性能及耐湿热性能, 并与小丝束碳纤维(T300-3K)复合材料进行了对比, 研究结果可为大丝束复合材料在航空器的次承力件或非承力件的应用提供技术基础。

关键词: 大丝束碳纤维(48K); 复合材料; 力学性能

中图分类号: TQ327.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-9815(2003)06-0008-04

前言

由于大丝束碳纤维(48K)具有价格低、来源容易、性能与12K碳纤维相当等优点, 其复合材料在钓鱼竿、高尔夫球杆、建筑补强、天然气储罐、医疗器械等方面应用广泛^[1-4], 随着大丝束碳纤维价格的进一步降低, 其应用领域将不断扩大。

目前, 航空航天领域所用复合材料主要使用3K-12K碳纤维, 还未见有大丝束碳纤维在此领域应用的报道。它能否在航空航天领域应用的关键决定于其复合材料的力学性能及其稳定性。

本文结合实际科研工作, 利用自行研制的高温固化(180℃)树脂体系5222B和国外进口的48K碳纤维制成预浸料, 并对复合材料层合板力学性能进行了研究。测试了大丝束复合材料单向板和多向板的拉伸、压缩、弯曲、剪切性能及湿热老化性能, 并与小丝束碳纤维(T300-3K)复合材料的相应性能进行了对比, 将为大丝束碳纤维复合材料在航空航天领域的应用提供技术依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

5222B 高温固化改性环氧树脂体系, 浅黄色粘稠体, T_g 为 222℃, 北京航空材料研究院自行

研制。

PANEX33-48K 碳纤维, 性能见表 1, 美国 ZOLTEK 公司制造。

1.2 试验方法

预浸料树脂含量或面密度, 按 GB/T7192-1982 进行。

拉伸性能, 按 GB/T3354-1982 进行。

压缩性能, 按 GB/T3856-1983 进行。

面内剪切强度、模量, 按 GB/T3355-1982 进行。

弯曲性能, 按 GB/T3356-1982 进行。

层间剪切强度, 按 JC/T773-1982 (1996) 进行。

1.3 制备大丝束碳纤维预浸料

先用 1.22m 热熔胶膜机制备 320mm 幅宽、外观均匀平整的 5222B 树脂胶膜, 然后将胶膜再与 48K 碳纤维在 1.22m 热熔预浸机上进行复合浸渍, 通过调整预浸温度、压力、速度、纤维张力等工艺参数, 制出幅宽 300mm 的 48K 碳纤维预浸料, 其纤维面密度为 $(130 \pm 5)g/m^2$, 预浸料树脂质量分数为 $(38 \pm 3)\%$, 预浸料外观均匀、平整、无干纱。

1.4 制备大丝束复合材料层压板

将 16 层的 48K 碳纤维预浸料按 0° 方向铺贴成单向板; 将 20 层 48K 碳纤维预浸料按 $[45^\circ/0^\circ/-45^\circ/90^\circ/45^\circ/0^\circ/-45^\circ/0^\circ/45^\circ/-45^\circ]$ 铺贴成多向板后, 分别在热压机上模压成型。所制

收稿日期: 2003-11-12; 修定日期: 2003-12-05

作者简介: 刘宝锋(1967-), 男, 高级工程师, 主要从事复合材料树脂基体及预浸料研制开发工作。

的层压板厚度分别为 $2\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 和 $2.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，纤维体积分数 $\bar{\sigma}$ 为 $(60 \pm 3)\%$ 。

层压板成型工艺：从室温升至 $130 - 140$ 加压至合模，升温速率为 $2 - 3 /\text{min}$ ，在 180 下恒温 3h ，自然冷却至室温后，卸模。

2 结果与讨论

2.1 树脂基体的研制

为适应大丝束碳纤维的自身特点，并满足热熔胶膜预浸工艺的要求，必须选择一种粘度适中、性能优良的适于航空使用的高温固化树脂体系。

5222 树脂体系及其碳纤维复合材料已成功应用于歼八机等飞机上，其 T_g 为 240 ，复合材料的力学性能较高，缺点是工艺性较差，树脂流动性大，且树脂固化后的韧性差，这也限制了该树脂体系的进一步应用。受经费和时间的限制，决定在 5222 树脂体系的基础上，用热塑性树脂对其进行改性，增加体系的粘度，适当降低其流动性，可以用热熔工艺制备胶膜。但树脂体系的粘度又不能太大，否则将不利于大丝束碳纤维的浸润和展开。经过反复多次的配方筛选和预浸工艺性的优化，最终确定了经改性的树脂体系配方，

并命名为 5222B。

5222B 树脂体系为浅黄色粘稠体，最小粘度为 $1.15\text{Pa} \cdot \text{s}$ ($165 - 170$)， T_g 为 222 (DMA 法)。

2.2 大丝束碳纤维复合材料单向板力学性能研究

复合材料单向板的力学性能是由纤维、树脂基体以及纤维 - 树脂界面性能等因素决定的，它是飞机结构设计的重要工程参数，也是评价材料性能优劣的常用参数。因此，为评价大丝束碳纤维复合材料，首先考查了 48K 碳纤维复合材料的力学性能，分别测试了其纵横向拉伸性能、纵横向压缩性能、主泊松比、面内剪切性能、层间剪切强度等，并与目前已应用于飞机结构件的 5222/T300-3K 复合材料进行了对比，结果见表 2。

由表 2 可以看出，48K 碳纤维复合材料单向板的纵横向拉伸强度、纵横向压缩强度、面内剪切强度、层间剪切强度、主泊松比等都不低于 T300-3K 碳纤维复合材料的相应性能，这说明 5222B 树脂基体对 48K 碳纤维的浸润性较强，界面粘结性良好，表现为面内剪切强度和层剪强度较高。但从表 2 还可以看出，在纵横向拉伸模量、纵横向压缩模量、面内剪切模量方面，48K 碳纤维复合材料与 T300-3K 碳纤维复合材料相比

表1 PANEX33-48K碳纤维性能

密度/(g · cm ³)	纤维直径/μ m	线密度/(g · m ⁻¹)	拉伸强度/MPa	拉伸模量/GPa
1.81	6.2	2.4	4 140	231

表2 5222B/48K(A)和5222/T300-3K(B)复合材料单向板常温下力学性能对比

类 型	纵向拉伸强度 /MPa	纵向拉伸模量 /GPa	横向拉伸强度 /MPa	横向拉伸模量 /GPa	纵向压缩强度 /MPa	纵向压缩模量 /GPa
A	1 510	130	55.3	8.5	1 369	130
B ^[5]	1 490	135	40.7	9.4	1 210	134
(A-B)/B	1.3%	-3.7%	35.9%	-9.5%	13.14%	-3.1%
类 型	横向压缩强度 /MPa	横向压缩模量 /GPa	面内剪切强度 /MPa	面内剪切模量 /GPa	主泊松比	层间剪切强度 /MPa
A	240	10.7	110.5	4.51	0.338	109
B ^[5]	197	10.8	92.3	5	0.280	100
(A-B)/B	2.18%	-0.93%	19.7%	-0.98%	20.7%	9%

注：A 栏数据是 2 - 3 批试验数据的平均值。

均有所降低，由表 1 可知，48K 碳纤维和 T300-3K 碳纤维的模量相当，都在 230GPa 左右，也就是说，纤维的影响较小；另外，其横向拉伸模量下降达 9.5%，这也正说明了模量的下降主要与树脂基体有关。如前所述。5222B 树脂在 5222 树脂的基础上为适应 48K 碳纤维浸润性要求进行了增韧改性，添加了一种热塑性增韧剂，提高其粘度，使其适于热熔胶膜法制备预浸料。由于热塑性增韧剂的模量较低，影响了整个树脂体系的模量，从而导致复合材料的模量降低。但模量的下降均在 10% 以内，故可以用在对模量要求不高的飞机非承力件或次承力件上。

2.3 大丝束碳纤维复合材料多向层合板力学性能研究

由于复合材料在飞机结构上大多以多向层合板的形式应用，因此，按 $[45^{\circ}/0^{\circ}/-45^{\circ}/90^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}]_k$ 铺层方式制备了多向

层合板，测试了其主要的力学性能，并与 5222/T300-3K 复合材料的相应性能进行了对比，其结果见表 3。

由表 3 可见，与 5222/T300 复合材料多向板力学性能相比，仍然是在拉伸强度、压缩强度等方面，5222B/48K 复合材料要高于 5222/T300-3K；而在压缩模量、面内剪切模量方面，则前者低于后者，情况与单向板力学性能一致，说明模量的下降也与树脂基体的增韧改性有关，但由于模量下降都在 10% 以内，故它可以用在对模量要求不高的飞机非承力件或次承力件上。

3 大丝束碳纤维复合材料湿热性能研究

为了考查 5222B/48K 复合材料的耐湿热性能，将其进行湿热（70℃，相对湿度 95%）

表3 5222B/48K(A)和5222/T300-3K(B)复合材料多向板常温力学性能对比

类 型	纵向拉伸强度 /MPa	纵向拉伸模量 /GPa	纵向压缩强度 /MPa	纵向压缩模量 /GPa	面内剪切强度 /MPa	面内剪切模量 /GPa
A	710	52.9	706	51.9	362	17.8
B ^[5]	687	52.0	546	53.0		20.0
(A-B)/B	3.34%	1.73%	29.30%	-2.08%		-6.0%

注：A栏为2 - 3批试验数据的平均值。

表4 5222B/48K和5222/T300-3K碳纤维复合材料的耐湿热性能

类 型	吸湿率 /%	弯曲强度/MPa				弯曲模量/GPa	
		干态室温	湿态室温	80	130	干态室温	湿态室温
5222B/ 48K	测试值	1.06	1 610	1 550	1 200	856	114
	保持率/%			96.3	74.5	53.2	97.4
5222/ T300-3K	测试值	1.41	1 840	1 560		975	124
	保持率/%			84.8		52.9	100
类 型	弯曲模量/GPa		层间剪切强度/MPa				
	80	130	干态室温	湿态室温	80	130	
5222B/ 48K	测试值	114	110	107	79.6	58.2	40.0
	保持率/%	100	96.5		74.4	54.4	37.4
5222/ T300-3K	测试值		121	104	89		43
	保持率/%		97.6		85.6		41.3

湿热试验条件为 65℃，相对湿度 95±5%，试验时间为 1 000h。
该数据是在 125℃ 下测试的。

1 000h 处理后，测试其吸湿率及其在室温和 130 下的弯曲性能和层间剪切性能，并与 5222/T300-3K 复合材料的湿热性能^[6]进行了对比，结果见表 4。

由表 4 的试验结果可以看出，5222B/48K 大丝束碳纤维复合材料经湿热处理后的性能保持率与 5222/T300-3K 相当，并且前者的吸湿率低于后者，说明其耐湿热性能优良。

5 结 论

利用热熔胶膜预浸工艺可以制备出合格的 5222B/48K 大丝束碳纤维预浸料，其复合材料单向板和多向板的常规力学性能除模量略有下降外，其他性能与 5222/T300-3K 复合材料相当。另

外，其耐高温、耐湿热性能优良，有望在航空航天领域的次承力件或非承力件上通过试用后得到正式应用。

参考文献：

[1] 赵稼祥. 大丝束碳纤维及其应用[J]. 纤维复合材料, 1999,(4): 52 - 55.
[2] 张旺玺. 聚丙烯腈基碳纤维的新进展[J]. 高科技纤维与应用, 2001,26(5): 12 - 16.
[3] 罗益锋. 新世纪世界碳纤维透视[J]. 高科技纤维与应用, 2000,25(1): 1 - 7.
[4] Large tow carbon fiber benefits sporting goods[J]. Reinforced plastics, 1999,(3): 38 - 41.
[5] 陈绍杰,等. 复合材料设计手册[M]. 北京航空工业出版社, 1990.
[6] 颜鸣皋,等. 中国航空材料手册[M]. 北京中国标准出版社, 2002. 82 - 83.

Study of the mechanical properties for large-tow carbon fiber composite

LIU Bao-feng¹; CHEN Shao-jie²; LI Pei-lan¹

(1. Institute of Aeronautical materials, Beijing 100095, China; 2. Shenyang Aircraft Desing and Research Institute, Shenyang 110035 China)

Abstract: The common mechanical properties and hot-wet properties of large-tow carbon fiber (48K) composite are studied preliminarily in this paper. And they are also compared with that of small-tow carbon fiber (T300-3K) composite. The results can provide the technologies for its future application on non-load-bearing component or subcomponent of aircraft.

Key words: large-tow carbon fiber(48K); composite; common mechanical properties; hot -wet properties



本刊“中国制造”活动广告优惠价与原广告价对比

(单位：元/期)

价 格	彩色封面	彩色封底	彩色封二	彩色封三	彩色插页	黑白插页	说 明
活动优惠价	3 000	2 500	2 000	2 000	1 750	500	外商企业广告不在本优惠之列，敬请原谅！
原 价	6 000	5 000	4 000	4 000	3 500	1 000	

开 户：富阳特种纤维应用研究所
银 行：中信实业银行富阳支行
帐 号：82600025044
传 真：(0571) 63372466

地 址：浙江富阳巨利路25号
邮 编：311400
电 话：(0571) 63373236 63382369
电子信箱：sfai@fy.hz.zj.cn