

含电路模拟结构吸波复合材料力学性能研究

邢丽英, 蒋诗才, 李斌太

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘要: 研究了填充吸收剂、加入金属、纤维电路屏对吸波复合材料力学性能的影响, 测试了含电路模拟结构吸波复合材料在室温和 80 °C 下的弯曲强度、弯曲模量、压缩强度、压缩模量及剪切强度的变化。研究表明, 通过合理的结构设计, 在提高吸波复合材料吸波性能的同时, 能够有效地提高吸波复合材料体系的力学性能, 使吸波复合材料的吸波承载一体化得以实现。

关键词: 电路模拟; 吸波复合材料; 力学性能

中图分类号: TB332 文献标识码: A 文章编号: 1005-5053(2004)02-0022-05

作为结构隐身复合材料, 在考虑改进材料雷达波吸收特性的同时, 必须兼顾考虑材料的力学性能, 以实现吸波承载一体化特性。作者通过将电路模拟结构引入到电阻渐变吸波复合材料和陷阱式吸波复合材料中, 通过合理的结构设计, 含电路模拟结构电阻渐变吸波复合材料在其他条件相同的情况下, 引入电路屏后吸波性能在 8~18GHz 范围内有 3~5dB 的提高, 含电路模拟结构陷阱式吸波复合材料在厚度 4mm 条件下, 实现了吸波性能在 8~18GHz 频率范围内吸收率 12 dB, 达到了国际先进水平。

本工作研究了将电路模拟结构引入到吸波复合材料的设计与研究中对吸波复合材料主要力学特性的影响。对填充吸收剂、加入金属、纤维电路屏对吸波复合材料力学性能的影响进行了系统的研究, 测试了含电路模拟结构吸波复合材料在室温和 80 °C 下的弯曲强度、弯曲模量、压缩强度、压缩模量及剪切强度的变化。研究表明, 通过合理的结构设计, 在提高吸波复合材料吸波性能的同时, 能够有效地提高吸波复合材料体系的力学性能, 使吸波复合材料的吸波承载一体化得以实现。

1 实验

1.1 原材料的选择及实验用仪器设备

实验中所用原材料及实验用仪器设备示于表 1。

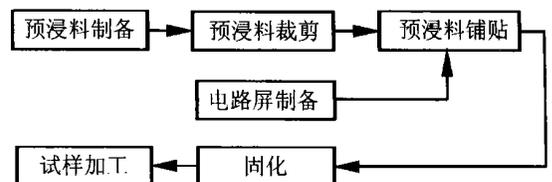
表 1 实验用原材料和设备

Table 1 The raw materials and facilities used in experiments

Raw materials	Facilities
Moderate temperature curing epoxy	Oven
High strength glass cloth	Vacuum pump
Carbon fiber	Autoclave
Absorbent	Cutter
Aluminium foil	Balance
Acetone	Platform balance
Aiding materials for preparing prepreg	Thickness meter
Aiding materials for curing	Vernier caliper

1.2 力学性能试样制备

试样制备流程图如下:



1.3 力学性能测试

压缩性能的测试, 按 GB T1449-83 测试复合材料的压缩性能。

弯曲性能的测试, 按 GB T1449-83 测试复合材料的弯曲性能。

层剪性能的测试, 按 Z9 1296-1999 测试复合材料的层间剪切性能。

2 结果分析与讨论

2.1 吸收剂及电路屏的加入对复合材料力学性能的影响

为了研究填充吸收剂、加入铝箔、纤维电路屏对吸波复合材料力学性能的影响, 分别测试了复合材料在室温和 80 °C 下的弯曲强度、弯曲模量、压缩强度、压缩模量及剪切强度的变化。结果示于图 1~ 5, 图中符号意义: 1 未填加吸收剂与电

路屏; 2 填充吸收剂并加入铝箔电路屏体系; 3 填充吸收剂并加入纤维电路屏体系; 4 填充吸收剂无电路屏体系。

由图 1~ 5 可见, 只填充吸收剂和填充吸收剂的同时加入铝箔、纤维电路屏三者的室温弯曲强度没有区别, 但均比未加吸收剂与电路屏的复合材料略微降低; 而 80 °C 弯曲强度又略高于未加吸收剂与电路屏的复合材料, 这说明吸收剂粉体的加入一般会影晌基体纤维的界面粘接, 从而使结

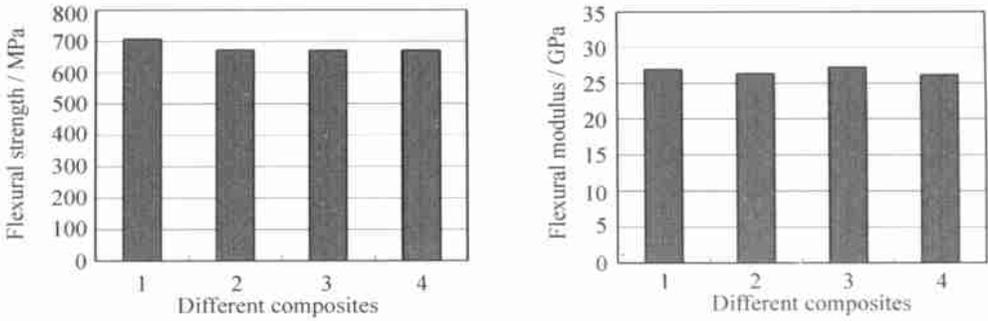


图 1 不同复合材料体系室温弯曲强度与模量

Fig. 1 The flexural strength and modulus of different composites at room temperature

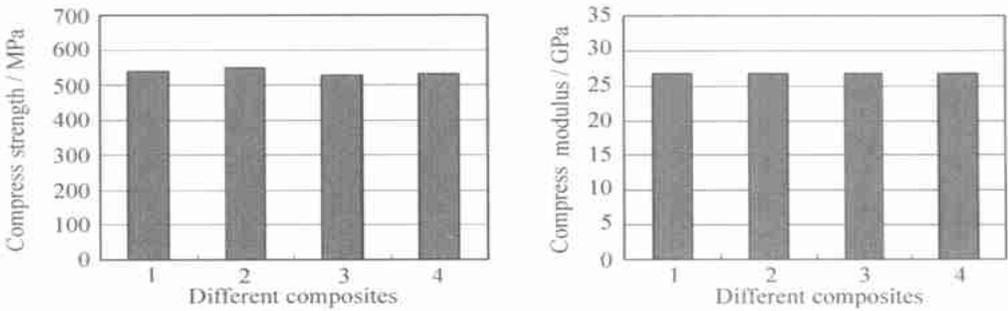


图 2 不同复合材料体系室温压缩强度与模量

Fig. 2 The compress strength and modulus of different composites at room temperature

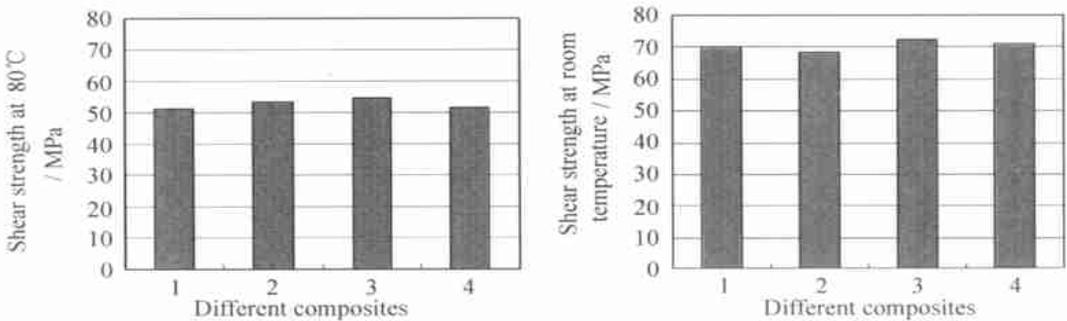


图 3 不同复合材料体系室温与 80 °C 剪切强度

Fig. 3 The shear strength of different composites at room temperature and 80 °C

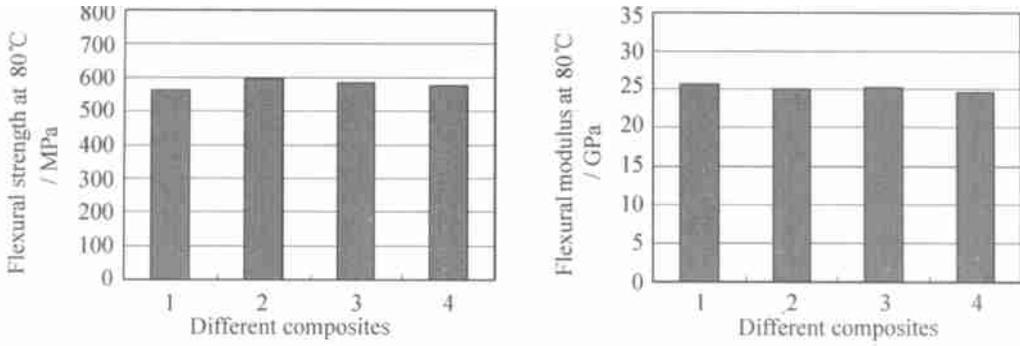


图 4 不同复合材料体系 80 °C 弯曲强度与模量

Fig. 4 The flexural strength and modulus of different composites at 80

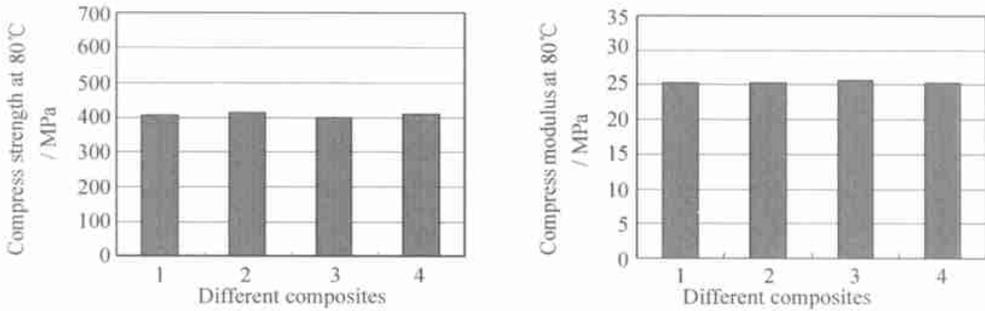


图 5 不同复合材料体系 80 °C 压缩强度与模量

Fig. 5 The compress strength and modulus of different composites at 80

构吸波复合材料的室温弯曲强度有少许降低,但由于吸收剂为无机粒子,其耐热性远高于树脂基体,因此吸收剂的加入,在一定程度上有利于复合材料耐高温性能提高,从而使 80 °C 弯曲强度高于未加吸收剂与电路屏的复合材料。

由图 3 可看出,含铝箔电路屏复合材料室温下剪切性能略低,含纤维电路屏复合材料的剪切性能略高于其他体系;在 80 °C 时由于树脂基体性能下降,含铝箔电路屏复合材料剪切性能略高于未添加吸收剂与电路屏复合材料,含纤维电路屏复合材料剪切性能仍为最好。

在压缩载荷作用下,复合材料基体树脂首先破坏,增强纤维失去树脂的支撑从而导致整个复合材料破坏。图中测试结果表明,几种不同复合材料体系的压缩强度区别不大,即加入吸收剂和电路屏后对复合材料压缩强度无明显影响。

由于纤维模量远大于树脂基体的模量,由图 1~ 5 可以看出,加入吸收剂和电路屏后对吸波复合材料的模量影响不大。

2.2 介质层介质含量对吸波复合材料力学性能的影响

2.2.1 介质层介质含量对含电路屏电阻渐变吸

波复合材料力学性能的影响

为了研究介质层介质含量对含电路屏电阻渐变吸波复合材料力学性能的影响,实验中设计了 4-3-1、5-2-1、5-3-1 三种不同介质含量的复合材料体系(体系按顺序依次为底层、中间层、面层,随序号增大,吸收剂含量增加),测试了上述体系的弯曲性能、层间剪切性能,结果如图 6 和图 7 所示。

通过对图中三种复合材料体系的弯曲强度、弯曲模量、层间剪切强度进行对比,可以发现一定的吸收剂含量内,在复合材料的总厚度、各介质层的厚度、所用电路屏尺寸一致的情况下,改变底层吸收剂含量对复合材料的弯曲强度、弯曲模量的影响不大,剪切强度有少许变化;改变中间层吸收剂含量对复合材料体系弯曲强度与模量有一定影响,中间层吸收剂含量低的体系性能相比较。分析认为可能的原因是由于材料在弯曲时的应力状态既有拉应力、又有压应力和剪应力,在局部区域内还有挤压应力。对于三层电阻渐变吸波复合材料,表层的压应力较大,底层的拉应力较大,中间层所受的剪应力较大,因此对吸收剂的含量变化比较敏感。

2.2.2 介质层介质含量对含电路屏 陷阱 式吸

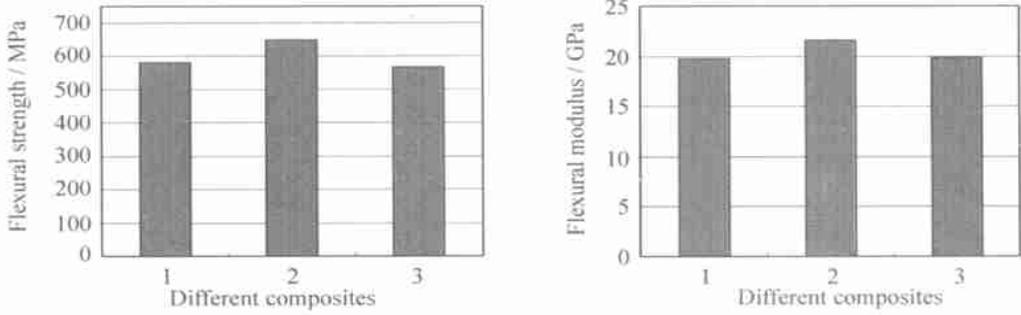


图 6 不同复合材料体系的弯曲强度与模量

Fig. 6 The flexural strength and modulus of different composites

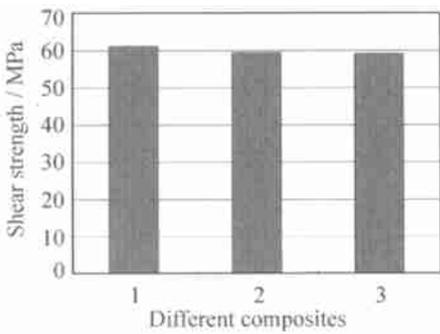


图 7 不同复合材料体系的层剪强度

(注:1# 指 4-3-1 体系;2# 指 5-2-1 体系; 3# 指 5-3-1 体系; 以上体系中均采用单层金属电路屏,电路屏尺寸均为 $a^* c=16^* 11$, 体系总厚度 $d=4.5\text{mm}$)

Fig. 7 The shear strength of different composites with the same thickness of 4.5mm and containing a single layer of circuit screen with the size of $a^* c=16^* 11$ (1# : structure form 4-3-1; 2# : structure form 5-2-1; 3# : structure form 5-3-1)

波复合材料力学性能的影响

为了研究介质层介质含量对含电路屏 陷阱式吸波复合材料力学性能的影响,本研究设计了 1, 2, 3, 4, 5 五种不同介质含量的复合材料体系,通过调整吸波复合材料底介质层介质含量研究吸波复合材料力学性能的变化(吸波复合材料体系结构为三层介质层结构)。图中 1 号体系为优化设计后的吸波复合材料体系,1~ 4 号吸波复合材料体系中底介质层介质含量随着编号的增大而增加,其中加入的电路屏均为碳纤维电路屏;4 号与 5 号底介质层介质含量一致,但 5 号中无碳纤维电路屏,为优化前的吸波复合材料体系。测试了上述体系的弯曲性能与层间剪切性能,结果如图

8和图 9 所示。由图 8 可看出,经过优化后的吸波复合材料体系(1 号)的弯曲强度有所提高。图 9 结果表明,调整底介质层介质含量后,复合材料在室温和 80 的层剪强度均没有明显变化。

综上所述,填充吸收剂和加入铝箔、碳纤维电路屏后复合材料的力学性能与未填充吸收剂与未加入电路屏的复合材料相比,室温和 80 性能均无明显变化,尤其含纤维电路屏吸波复合材料不仅具有较好的吸波性能,而且具有较好的力学性

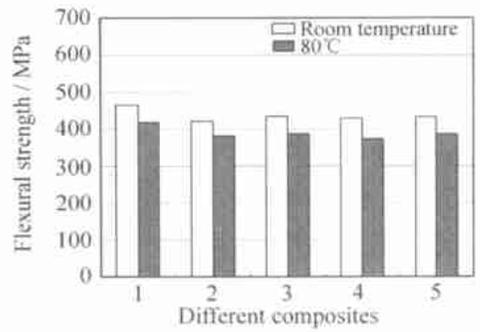


图 8 不同复合材料体系的弯曲强度

Fig. 8 The flexural strength of different composites

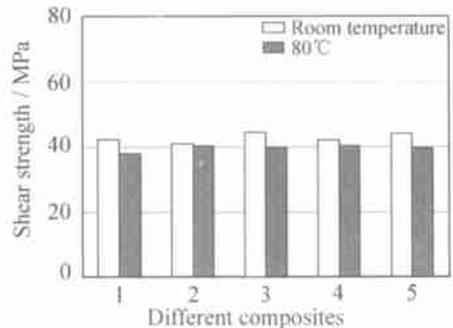


图 9 不同复合材料体系的层剪强度

Fig. 9 The shear strength of different composites

能。这说明经过优化设计后制备的含电路屏吸波复合材料不但可获得所需雷达波吸收性能,满足隐身的要求,同时可使其力学性能有所提高,具有较好的承载性能,实现了吸波复合材料的吸波承载综合性能同时得到提高。

3 结 论

(1) 吸收剂的加入对复合材料体系弯曲模量、压缩强度与模量影响较小。室温弯曲强度较未加吸收剂的复合材料略有降低,但80℃弯曲强度又有所提高;加入吸收剂后复合材料的室温剪切强度较未加吸收剂的复合材料几乎没有变化。

(2) 电路屏的加入对复合材料体系弯曲强度、弯曲模量、压缩强度与模量基本无影响;含铝箔电路屏复合材料室温下剪切性能略有降低,含纤维电路屏复合材料剪切性能略高于其他体系;80℃时含铝箔电路屏复合材料剪切性能略高于未添加吸收剂与电路屏复合材料,含纤维电路屏复合材料剪切性能仍为最好。

(3) 在其他条件一致,改变电阻渐变吸波复合

材料的底介质层介质含量对复合材料弯曲强度和模量的影响不大,剪切强度有少许变化;改变中间层吸收剂含量对复合材料体系弯曲强度与模量有一定影响,中间层吸收剂含量低的体系性能相对较高。

(4) 在其他条件一致,降低陷阱式吸波复合材料的底介质层介质含量对吸波复合材料力学性能有所提高;经过优化设计后制备的含纤维电路屏的吸波复合材料具有优异的吸波承载综合性能。

参考文献:

- [1] 邢丽英. 含电路模拟结构吸波复合材料研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2003.
- [2] 吴人洁. 聚合物的表面与界面[M]. 北京: 科技出版社, 1998.
- [3] 李铁骑, 章明秋, 曾汉民. 纤维复合材料界面层结构、性质及作用[J]. 高分子材料科学与工程, 1997(2): 12 - 17.
- [4] 欧阳国恩, 欧阳荣. 复合材料实验技术[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1993.

Study on the mechanical properties of microwave-absorbing composite with circuit analogue

XING Li-ying, JIANG Shi-cai, LI Bin-tai

(Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

Abstract: The influence of the content of absorbent and the structure of circuit analogue on the mechanical properties of microwave absorbing composite materials was investigated. The properties of bend, compression and shearing in room temperature and 80℃ were tested. The mechanical properties testing results show that rational structural design can effectively improve the mechanical properties of the microwave-absorbing composite systems, and make the wave-absorbing and loading property integrative in microwave absorbing composite materials.

Key words: circuit analogue(CA); microwave absorbing composite materials; mechanical properties