

短碳纤维电磁特性及其在吸波材料中应用研究

Study on Electromagnetic Property of Short Carbon Fibers and Its Application to Radar Absorbing Materials

邢丽英 刘俊能 任淑芳 (北京航空材料研究院)

Xing Liying Liu Junneng Ren Shufang (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 研究了掺混短碳纤维后材料在电磁波作用下某些宏观物理量(电磁参数、电磁波吸收与透过等)的响应特性。结果表明:调整纤维长度及含量可在很宽范围内调整材料的电磁参数与衰减量,将为研制与设计高性能吸波材料及电磁屏蔽等功能材料提供依据。

关键词 短碳纤维 电磁特性 吸波材料

[Abstract] The response properties of some physical parameters (electromagnetic parameters, absorption and penetrability etc.) due to containing of short carbon fibers have been studied in this paper. It has been found that the length or content of fibers can adjust the electromagnetic parameters and attenuation property of functional materials in a wide range. The results of study is becoming the basis for further study of radar absorbing and electromagnetic shielding functional materials.

Keywords short carbon fiber electromagnetic property radar absorbing material

1 前言

复合材料向功能与结构一体化发展是复合材料研究与设计的重大进展。含有短纤维增强的树脂基功能复合材料在导电、电磁屏蔽、反射与吸收、电子包装或结构应用等方面有特殊的优越性,已成为功能型复合材料研究的主要内容。随着隐身与反隐身技术的发展,电磁波功能复合材料作为吸波材料的主要类型,日益引起研究者的重视,精心设计的高性能复合材料具有吸收和散射雷达波能量的作用,从而获得减缩目标雷达截面(RCS)的效果。

从吸波材料发展的现状看,国外已有文献报导将导电短纤维用于电磁波功能材料中,其中采用的是金属短纤维,如铁、铝、铜、不锈钢等金属短纤维,将这些短纤维与磁性铁氧体混合,可制成具有较好吸波性能的雷达波吸收材料,也有采用短碳纤维制备吸波材料的报导,国内开展这方面研究工作较少,有待深入研究。使制成的电磁波功能复合材料薄、轻的问题正是吸波材料应用中亟待解决的难题。

本文研究了掺混短碳纤维后材料在电磁波作用下某些宏观物理量(电磁参数、电磁波吸收与透过等)的

响应特性,拟为研制与设计高性能吸波材料及电磁屏蔽等功能材料奠定基础。

2 实验方法

2.1 原材料准备

树脂、短切碳纤维(T300)、吸收剂、蜂窝夹芯、玻璃钢面板等。

2.2 试样制备

波导试样,涂膜等的制备,蜂窝芯的浸渍等,短切碳纤维在基料中呈随机分布状态。

2.3 性能测试

电磁参数、反射率、隔离值等电性能测试。

2.4 仪器设备

扫频双六端口电磁参数测试系统,1504BRAM反射率测试系统,制备试样的工艺设备。

3 结果与讨论

3.1 导电机理

对于导电型吸收剂,其树脂复合物的导电机理有:
(1)在树脂基体中分散的导电吸收剂呈接触状态,从而形成导电性通路,导电吸收剂在树脂基体中形成导电网

络时,电子流动才能通过复合物;(2)树脂基体中的导电吸收剂,在某一距离(10nm以下)内接近时,电子穿过高电阻聚合物凿开隧道,电子跳跃而移动(隧道效应)。由于聚合物是绝缘的,导电填料必须彼此接触或彼此靠得很近,才能达到连续的电子流动。对于短碳纤维,此导电机理主要对复合物介电常数实部做出贡献。

短碳纤维使外场的电磁波能量感应成耗散电流能量,而添加介质则使电流能量转化成热能,构成材料对电磁波的衰减与吸收。

3.2 不同长度短碳纤维的电磁特性

测定不同长度短碳纤维在同样重量百分比下的电磁参数及涂刷成膜后的隔离值,结果见表1及图1。

表1 不同长度纤维的电特性 (f= 9.37GHz)

Table 1 Electrical properties of short carbon fibers in different lengths (f= 9.37GHz)

纤维长度, mm		电参数			
纤维含量, %		2	3	4	5
A	ϵ	6.8	8.0	8.2	7.6
	$\text{tg}\delta$	0.31	0.45	0.72	0.58
	介质波长	11.96	10.70	9.31	—
B	ϵ	—	9.0	9.4	—
	$\text{tg}\delta$	—	0.48	0.82	—
	介质波长	—	9.99	7.90	—
C	ϵ	—	11.0	10.6	—
	$\text{tg}\delta$	—	0.84	0.88	—
	介质波长	—	7.11	6.77	—

注: 含量 A < B < C (5mm 纤维分散状态不好)

由表1看出: 当3mm cf (cf 代表碳纤维) 在含量为 C% 时, 4mm cf 含量为 B% 时, 其纤维长度接近介质中传输波长的一半, 此时表现出强的谐振效应, 产生较大的损耗。由图1可同时看出: 当3mm cf 在含量 C% 时, 隔离值最大; 4mm cf 在含量 B% 时, 由4mm cf 制备的膜隔离值要大于3mm cf 制备的膜。

可见, 具有一定长度的碳纤维, 可以作为电偶极子(谐振子)与入射电磁波谐振而产生谐振感应电流, 并将感应电流大量消耗在损耗性基体介质中, 从而起到衰减电磁波能量作用; 具有接近半波长的电偶极子, 可以在外场中产生强烈的谐振效应。

因此对于不同长度的纤维, 其在介质中的最佳填充量不同, 在对应的最佳填充量下可对电磁波衰减起较大作用。

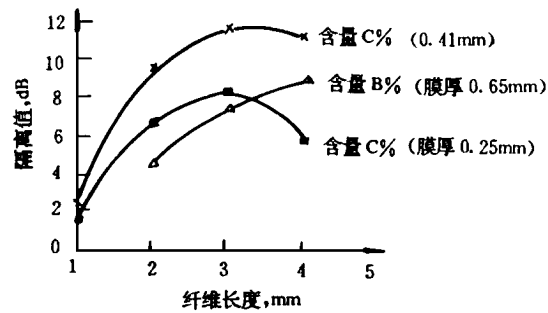


图1 不同长度碳纤维的电磁特性

Fig. 1 Electromagnetic properties of short carbon fibers in different lengths

3.3 纤维含量对电磁特性的影响

测定纤维在不同重量百分比含量下的电磁参数及与吸收剂复合后的涂层反射率, 结果见图2及表2。

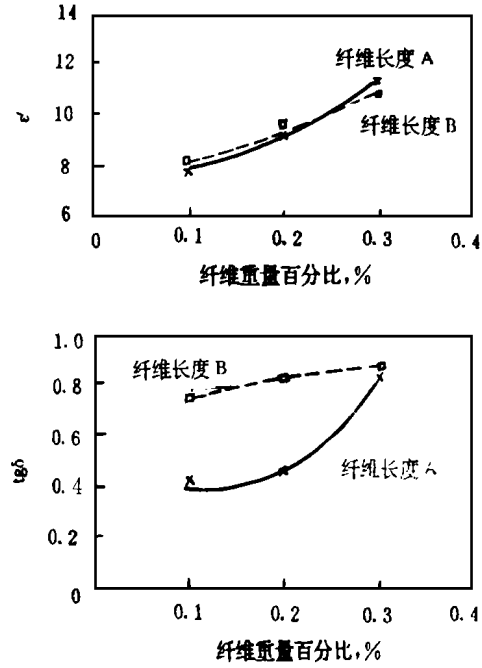


图2 纤维不同填加量对电磁特性的影响

Fig. 2 The effect of different fiber contents on electromagnetic properties

由图2看出, 随着纤维含量增加, 介电常数实部(ϵ')增大。这是由于随着纤维含量增加, 树脂中导电纤维彼此接触或靠近的几率增大, 从而使得复合物的导电性增加, 因此材料的介电常数实部增大。谐振子含量变化, 意味着改变了振子间的距离, 导致振子间距对电磁波的作用呈现多效应。谐振子含量较低时, 各谐振子间的相互作用较弱, 各振子成为相互独立的电偶极子, 各谐振子间靠阻抗 Z_L 相互联系, 成为多元离散振子阵。当纤维

含量在一定百分比下(临界含量),随着含量增加,损耗增大(见图2)。

当谐振子含量增加时,相互靠近的振子间电力线相互排斥,电场相互叠加,显示出强反射特征,或者说因振子间距离缩短,阻抗 Z_L 的变化引起有功分量部分减少,损耗降低,使得衰减量下降(见表2)。

表2 纤维含量改变对电磁波衰减量的影响

Table 2 The effect of changing fiber content on electromagnetic attenuation

特性 体系编号	吸收剂含量 wt%	短碳纤维含量 wt%	衰减量 dB/mm
1	82	0.20	7.4
2	82	0.37	9.8
3	82	0.55	11.3
4	82	1.10	10.0

因此短碳纤维在材料体系中填充量要综合考虑其对电性能、工艺分散性等因素的影响。由图2及表2看出:根据不同的电磁特性要求,可通过调整短碳纤维的含量来调节体系的电磁参数及衰减量。

3.4 短碳纤维在吸波材料中的应用

通过进行纤维不同长度、含量对电磁特性影响的分析总结,同时考虑在蜂窝夹层结构吸波材料中应用的可行性,对几种长度的碳纤维进行了电性能及工艺可行性实验,最终选定了一种工艺上可行的短碳纤维长度并进行了配方实验,确定了纤维及吸收剂在浸渍胶液中的配比,结果见图3。

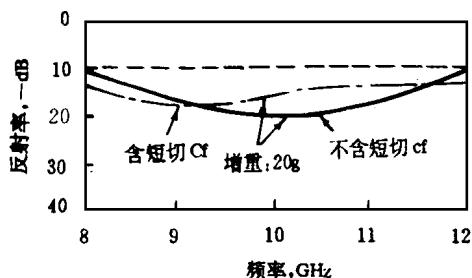


图3 两种浸渍胶液体系吸波性能对比 ($V_A \cdot V_{A+cf} = 12 \cdot 5$)

Fig. 3 Comparison of radar absorbing properties between two dip-coating systems

由图3看出,只加A类粉料吸收剂以及A类粉料吸收剂与短碳纤维混用的两种浸渍胶液体系在蜂窝高度、浸渍工艺及增重均相同条件下的吸波性能相当,而且加短碳纤维体系的吸波性能曲线较平坦,有宽频吸波效果;加短碳纤维的浸渍胶液体系的填料加入量与只加A

类粉料吸收剂的体积比为: $V_{A+cf} \cdot V_A = 5 \cdot 12$, 由此看出,通过碳纤维的加入,可以大大减少粉料吸收剂的填充量,这样在保证蜂窝结构电性能的同时,提高了胶液与蜂窝壁的粘附强度。在吸收剂含量相同、涂层厚度相同情况下,加短切碳纤维体系的涂层与不加短切碳纤维体系的涂层的对比曲线见图4。

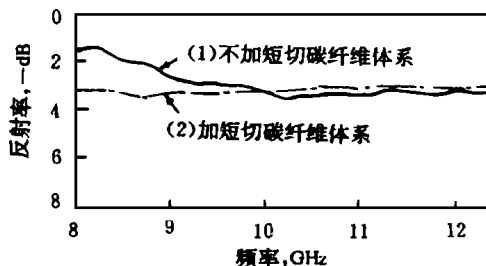


图4 加与不加短碳纤维体系涂层吸波性能

对比曲线 (λ 射角 = 0°)

曲线 (1) 涂层: 厚度 $d_1 = 0.64\text{mm}$, 重量 $w_1 = 72.5\text{g}$

曲线 (2) 涂层: 厚度 $d_2 = 0.64\text{mm}$, 重量 $w_2 = 66.5\text{g}$

Fig. 4 Comparison of radar absorbing properties of coat systems with and without short carbon fibres

由上看出,通过短切碳纤维的加入,可以调节涂层的电特性,使得吸收频带变宽,同时使得涂层系统重量有所降低。

4 结论

(1) 短碳纤维的加入,可在较宽范围内调整材料体系的电磁参数和衰减量。

(2) 对于不同长度的短碳纤维,在介质中的最佳填充量不同,在对应的最佳填充量(此时纤维的长度接近传输波长的一半)可对电磁波起较大衰减作用。

(3) 短碳纤维的加入,可大大减少粉料吸收剂的填充量,这样,在保证材料电性能的同时,可提高材料力学性能,并能起到一定的减重效果。

参考文献

- 甘永学等. 谐振子含量变化引起的反射与吸收多效应. 材料科学进展, 1993, 7 (1)
- 王茂章等. 碳纤维的制造、性质及其应用, 1984, 1 ~ 554
- [美] E. F. 克拉特等著. 阮颖铮等译. 雷达散射截面—预估、测量和减缩. 北京电子工业出版社, 1988

稿件收到日期: 1997. 4. 10.

邢丽英, 女, 1965年2月生, 北京航空材料研究院, 高级工程师, 联系地址: 北京市81信箱12分箱 (邮编100095)。