

石英 /GW - 300 复合材料介电性能研究

耿东兵^{1,2} 曾黎明¹ 黎义² 胡兵¹

(1 武汉理工大学,武汉 430070)

(2 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文摘 制备了石英 /GW - 300 复合材料,并对其进行了热性能、电性能等方面的测试。结果表明,材料在氮气下的分解温度为 543 ;分子结构中的较大的自由体积使得材料具有优良的介电性能,其介电常数为 3.33。石英 /GW - 300 复合材料可望满足高速飞行器宽频带天线罩的要求。

关键词 聚酰亚胺,耐热性,介电性能

Study on Microwave Dielectric Properties of SiO₂ /GW - 300

Geng Dongbing^{1,2} Zeng Liming¹ Li Yi² Hu Bing¹

(1 Wuhan University of Technology, Wuhan 430070)

(2 Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The composite material is prepared by moulding with the matrix of polyimide (PI). The thermo-mechanical and electrical properties are measured, which indicate that the initial thermal decomposition temperatures of the material is 543 in nitrogen. The polyimide composites show also good dielectric properties with dielectric constants of 3.33 at 1 kHz frequency, mainly because of the large free volume in the molecular structures. All the properties make them great potential candidates for advanced radome in aircraft applications.

Key words Polyimide, Heat resistance, Dielectric property

1 前言

先进雷达天线罩为了适应宽频多波段透波,需要具有良好的电绝缘性能和宽频电磁波透过性能,同时兼有优异的耐热性能、力学性能和耐环境性能^[1-2]。低介电常数和低介质损耗是满足新型雷达罩材料要求的必要条件。

GW - 300 的优点是可在 300 下长期使用,短期使用温度达 540 。它们的介电性能优良,介电常数为 3.33,介电损耗 $\tan \delta$ 在 $(3 \sim 4) \times 10^{-3}$,而且在宽广的温度和频率范围内仍能保持稳定^[3-6]。本文主要研究石英 /GW - 300 复合材料的耐热性及介电性能。

2 实验

2.1 原料及设备

GW - 300 树脂溶液:50%丙酮溶液,航天材料及工艺研究所;短切石英纤维:平均长度 4 mm,湖北沙市石英玻璃厂;模塑料制备设备:自制;平板硫化机:大连化工机械厂,热板面积 400 mm × 400 mm,公称合模力 100 t;热重分析 (TGA):Perkin - Elmer7 系列热分析仪,升温速率为 20 /min;动态机械分析 (DMA):Perkin - Elmer7 系列热分析仪,升温速率为 5 /min;力学性能测试:Instron 1122 万能试验机,英国 Instron 公司;扫描电子显微镜 (SEM):HTACHIS - 520,日本日立公司;宽频介电性能测试:

收稿日期:2005 - 10 - 23

作者简介:耿东兵,1969 年出生,博士研究生,主要从事高性能复合材料等方面的研究工作

非标设备。

2.2 试样制备

2.2.1 GW-300树脂试样制备

将 GW-300树脂溶液真空蒸馏除去大部分溶剂后,再在真空干燥箱内经过 60 /6 h抽除剩余的溶剂,所得固体棕黄色粉末置于干燥器中备用。

2.2.2 石英/GW-300模塑料制备

将一定量处理过的短切石英纤维加入 GW-300树脂溶液中,高速搅拌 30 min,充分搅拌均匀后,逐渐将丙酮溶剂蒸出,混合物静置 1 h后直至石英纤维与树脂不发生分层为止,然后将混合物平摊在瓷托盘中,放入真空烘箱,经过 60 /6 h后,粉碎至规定细度即得到石英/GW-300模塑料,其中短切石英纤维质量分数为 20%和 30%,分别标记为 GW-300-20和 GW-300-30。

2.2.3 石英/GW-300试样制备

GW-300-20和 GW-300-30采用相同的成型工艺,即:将石英/GW-300模塑料放入模具,由室温自由升温至 180 ,加压 1 MPa,保温保压 2 h;继续升温至 250 ,保温保压 2 h;自然冷却至室温;脱模得到 GW-300/石英纤维复合材料。按测试要求加工到试样尺寸待测。

3 结果与讨论

3.1 复合材料力学性能

GW-300-20模塑料及其复合材料 SEM 照片见图 1、图 2。

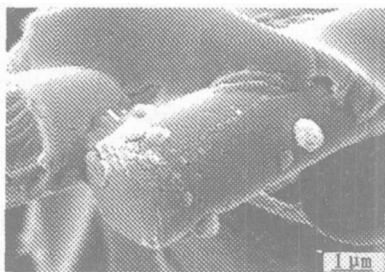


图 1 石英/GW-300-20模塑料 SEM 照片

Fig 1 SEM image of SiO_2 /GW-300-20 prepreg

短切石英纤维均匀分布于 GW-300树脂连续相中,并且纤维表面包覆一层树脂,没有纤维成束或成团现象,树脂基体与增强纤维界面结合良好,没有孔洞或孔隙存在。经超声波探测,材料的孔隙率小于 1%~2%。短切石英纤维长径比约为 1.2×10^4 ,
宇航材料工艺 2006年 第 2期

与加入前相似,从而保证材料所受负荷能够从基体树脂向增强纤维有效传递。



图 2 石英/GW-300-20复合材料 SEM 照片

Fig 2 SEM image of SiO_2 /GW-300-20 composite

表 1列出了 GW-300-20和 GW-300-30复合材料的力学性能,与 GW-300纯树脂相比,复合材料的弯曲强度提高了 23.5%和 26.5%;弯曲模量提高了 282%和 309%;拉伸强度提高了 36.6%和 57.7%;冲击强度提高了 147%和 184%。

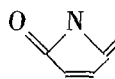
表 1 石英/GW-300复合材料力学性能

Tab 1 Mechanical properties of SiO_2 /GW-300

材 料	弯曲强度	弯曲模量	拉伸强度	冲击强度
	/MPa	/GPa	/MPa	/kJ·m ⁻²
GW-300-20	124	12.6	96.2	14.5
GW-300-30	121	13.5	87.4	12.6
GW-300	98	3.3	61	5.1

3.2 复合材料的热氧化稳定性

GW-300 中由于具有强的亲二烯体结构



增加了链的内旋阻力,使聚合物的耐热性提高。石英/GW-300 复合材料的 TGA 曲线见图 3。

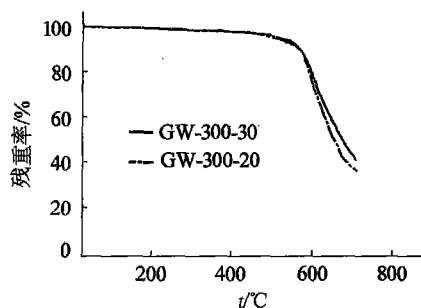


图 3 石英/GW-300复合材料 TGA 谱图

Fig 3 TGA curve of SiO_2 /GW-300 composite

图 3表明:复合材料在 490 之前没有明显的

失重,拐点失重温度为 543,失重 5%和 10%的温度分别为 526~531 和 557~563。图 4是 GW - 300/石英复合材料的 DMA 曲线,可以看出在 300 之前储存模量 (E') 保持不变,然后开始下降,储存模量曲线的拐点在 310,说明材料在对应的温度附近高温力学性能迅速下降。损耗模量 (E'') 在 300 没有变化,在 340 即材料的玻璃化转变温度 (T_g) 前迅速上升。说明复合材料具有优异的耐热性。

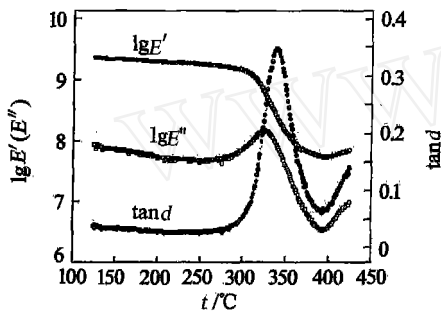


图 4 石英 /GW - 300 复合材料的 DMA 曲线
Fig 4 DMA curve of SiO_2 /GW - 300 composite

3.3 复合材料的介电性能

对复合材料进行了体积电阻和介电性能测试,结果表明:短切石英纤维增强的石英 /GW - 300 系列复合材料具有良好的电绝缘性能和介电性能(表 2),其表面电阻率和体积电阻率分别在 $10^{14} \sim 10^{15} \cdot m$ 和 $10^{15} \sim 10^{16} \cdot m$,频率为 1 kHz 时,材料的介电常数为 3.33,介电损耗为 4×10^{-3} 。

表 2 石英 /GW - 300 复合材料的电性能和介电性能¹⁾

Tab 2 Electric and dielectric properties of SiO_2 /GW - 300 composite

材 料	体积电阻率 / $\cdot m$	表面电阻率 / $\cdot m$	介电常数	介电损耗 / 10^{-3}
GW - 300 - 20	$10^{15} \sim 10^{16}$	$10^{14} \sim 10^{15}$	3.33	4
GW - 300 - 30	$10^{15} \sim 10^{16}$	$10^{14} \sim 10^{15}$	3.33	4

注:1)介电常数和介电损耗的测试频率为 1 kHz。

图 5 是材料的介电常数和介电损耗随频率的变化曲线。可以看出,在 1 kHz~18 GHz,材料的介电常数基本没有变化,介电损耗在该频率范围内的变

化不超过 0.001,说明在很宽的频率变化范围内材料的介电性能保持稳定,有利于宽频带天线罩结构设计。

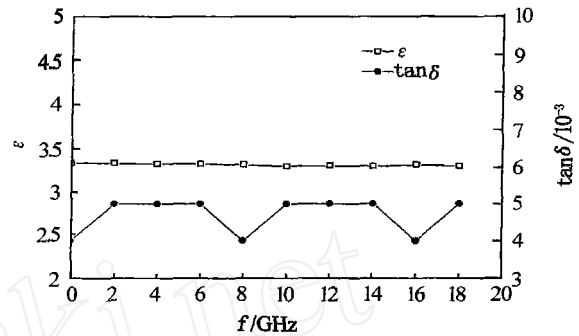


图 5 GW - 300 - 30 介电常数和介电损耗随频率的变化

Fig 5 Dielectric properties curve of SiO_2 /GW - 300 composite

4 结论

石英 /GW - 300 复合材料具有良好的综合力学性能、优良的耐热性,并且在 1 kHz~18 GHz 频率范围内,复合材料的介电常数基本保持不变,介电损耗在该频率范围内的变化不超过 0.001,在很宽的频率变化范围内材料的介电性能保持稳定。该材料可望满足高速飞行器宽频带天线罩的要求。

参考文献

- 1 杜耀惟. 天线罩电信设计方法. 北京:国防工业出版社,1994
- 2 梁国正,蓝立文,张明习等. 用于高性能雷达罩的树脂基体的研究. 宇航材料工艺,1996;26(6):14~17
- 3 王小群,杜善义,韩杰才. 高速宽频带防空导弹天线罩研制探讨. 宇航材料工艺,1998;28(2):17~23
- 4 Dine-Hart R A, Wright W W. The development of a melt processable polyimide resin system. In: Plastic NST, RPG Conf, London, 1973: 7
- 5 Maurice C C. High performance radome manufactures using polyimide. In: Proceeding of the 14th Symposium on Electromagnetic Windows, 1978
- 6 Cray M C. Polyimide in advanced composites for aerospace applications. In: BPF 7th International Reinforced Plastics Conf, Brighton, 1970

(编辑 吴坚)