

石英玻璃纤维布增强 BMP350 聚酰亚胺树脂基复合材料性能研究

Study on Properties of Polyimide Matrix Composites Reinforced by Quartz Fibre Cyanate

中航复合材料有限责任公司 阳 灿 周洪飞

[摘要] 研究了石英玻纤布增强 BMP350 聚酰亚胺树脂基复合材料的热物理性能、力学性能和介电性能,结果表明石英玻纤布/BMP350 复合材料具有稳定的热物理性能、优良的综合力学性能和优良的电性能,可在 320℃下使用。尤其是石英玻纤布/BMP350 复合材料的介电性能具有极好的频率稳定性,适合作为高通波材料。

关键词: 石英玻璃纤维 聚酰亚胺 复合材料 力学性能 介电性能

[ABSTRACT] The thermophysical properties, mechanical properties and dielectric property of polyimide matrix composites reinforced by quartz fibre cyanate are studied in this paper. The results show that the quartz fibre cyanate /BMP350 composites has good mechanical properties and excellent dielectric property, and the operating temperature of the composites is under 320 °C . Especially, since its dielectric property seems to have excellent stability to frequency, the quartz fibre cyanate /BMP350 composites could be used as high transmission material.

Keywords: Quartz fibre cyanate Polyimide matrix Composites Mechanic properties Dielectric property

BMP350 聚酰亚胺树脂属于第二代 PMR 型聚酰亚胺树脂,是目前耐温最高、并已得到实际应用的结构用树脂基复合材料之一。它对碳纤维、玻璃纤维等具有良好的浸润性,可以制备溶液法预浸料,主要采用热压罐法和模压法工艺制造复合材料;具有良好的机械性能和电性能,高的比强度和比刚度,较高的热稳定性和化学稳定性,在国外已经大量应用于飞机、导弹、火箭等航空航天飞行器的耐高温结构部件(如发动机),飞机或导弹天线罩中,对结构减重有良好的效果^[1]。本文所研究的石英玻纤布增强 BMP350 聚酰亚胺树脂基复合材料是某型航天器的天线罩材料,该材料具有最高耐受温度 350℃、介电性能优良、力学性能好等特点,适用于耐高温透波结构或高性能透波结构方面的应用。本文通过试验研究了石英玻纤

布增强 BMP350 聚酰亚胺树脂基复合材料的热物理性能、力学性能和介电性能。

1 试验

1.1 试验材料

将石英玻璃纤维布(B型平纹布,湖北菲利华石英玻璃股份有限公司产品)和 BMP350 聚酰亚胺树脂(中航复合材料有限责任公司研制)制成溶液法预浸料后,裁剪和铺贴成单向层合板,进行吸胶、预处理流程,最后通过热压罐法固化成型。

1.2 热物理性能试验

热物理性能试验进行了比热容、平均线膨胀系数及热导率试验,具体试验标准、试验参数、试验件尺寸及数

表1 热物理性能试验内容矩阵

| 试验内容 | 试验标准 | 试验参数 | 试件尺寸 / mm | 试件数量 / 件 |
|---------|----------------|-------------------------------|-----------|----------|
| 比热容 | GJB330A-2000 | 室温~100℃ 室温~145℃ 室温~250℃ | Φ14×30 | 3 |
| 平均线膨胀系数 | GJB332A-2004 | 室温~100℃ 室温~145℃ 室温~250℃ | 65×15×5 | 3 |
| 热导率 | GB/T10295-2008 | 50℃ | Φ25.4×5 | 3 |

表2 石英玻纤布/BMP350复合材料比热容试验结果

| 参数 | 平均比热容 \overline{CP} / (J·g ⁻¹ ·K ⁻¹) |
|---------|---|
| 室温~100℃ | 0.93 |
| 室温~145℃ | 0.93 |
| 室温~250℃ | 0.94 |

表3 石英玻纤布/BMP350复合材料平均线膨胀系数试验结果

| 参数 | 平均线膨胀系数 / (10 ⁻⁶ /℃) |
|---------|---------------------------------|
| 室温~100℃ | 8.22 |
| 室温~145℃ | 8.42 |
| 室温~250℃ | 11.3 |

表4 石英玻纤布/BMP350复合材料热导率试验结果

| 参数 | 热导率 / (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹) |
|-----|---|
| 平均值 | 0.40 |

量如表 1 所示,具体结果见表 2、3、4。

1.3 力学性能测试

力学性能测试进行了室温及 320℃ 两种环境下 0°、90° 方向的拉伸、压缩、层间剪切、弯曲的强度及模量试验,试验标准参照 ASTM 标准(见表 5、6)。

1.4 介电性能测试

介电性能的测试采用谐振腔法,仪器为 HP8722ES 型,按照 GB/T 5597-1999 标准,测量试样的介电常数和介质损耗正切值;采用全频率测试,频率范围为 2~7GHz,常温,试样尺寸为 $\Phi 162$ mm,数量 3 件。

2 试验结果与讨论

2.1 石英玻纤布 /BMP350 复合材料热物理性能

表 2、3、4 中分别列出了石英玻纤布 /BMP350 复合材料的比热容、平均线膨胀系数及热导率试验结果。从表 2 中可以发现,在不同温度区间中,石英玻纤布 /BMP350 复合材料具有比较稳定的比热容。从表 3 中可以发现,石英玻纤布 /BMP350 复合材料的线膨胀系数在室温~250℃ 区间有比较明显的增长。

2.2 石英玻纤布 /BMP350 复合材料力学性能

表5 石英玻纤布/BMP350复合材料的力学性能(室温)

| 测试项目 | 平均值 | 测试方法 |
|-----------------|-------|---------------|
| 0° 拉伸强度 /MPa | 608 | ASTM D3039-07 |
| 90° 拉伸强度 /MPa | 593 | |
| 0° 拉伸模量 /GPa | 27.3 | |
| 90° 拉伸模量 /GPa | 26.3 | |
| 0° 弯曲强度 /MPa | 675 | ASTM D790-02 |
| 90° 弯曲强度 /MPa | 658 | |
| 0° 弯曲模量 /GPa | 22.0 | |
| 90° 弯曲模量 /GPa | 20.3 | |
| 0° 层间剪切强度 /MPa | 62.19 | ASTM 2344 |
| 90° 层间剪切强度 /MPa | 60.91 | |
| 0° 压缩强度 /MPa | 487 | ASTM D6641 |
| 0° 压缩模量 /GPa | 29.42 | |

表6 石英玻纤布/BMP350复合材料的力学性能(320℃)

| 测试项目 | 平均值 | 保持率 |
|-----------------|-------|-------|
| 0° 拉伸强度 /MPa | 401 | 66.0% |
| 90° 拉伸强度 /MPa | 377 | 63.6% |
| 0° 拉伸模量 /GPa | 23.5 | 86.1% |
| 90° 拉伸模量 /GPa | 22.8 | 86.7% |
| 0° 弯曲强度 /MPa | 379 | 56.1% |
| 90° 弯曲强度 /MPa | 382 | 58.1% |
| 0° 弯曲模量 /GPa | 18.6 | 84.6% |
| 90° 弯曲模量 /GPa | 18.0 | 88.8% |
| 0° 层间剪切强度 /MPa | 34.88 | 56.1% |
| 90° 层间剪切强度 /MPa | 39.09 | 64.2% |

2.2.1 室温条件下石英玻纤布 /BMP350 复合材料的力学性能

表 5 列出了室温条件下石英玻纤布 /BMP350 复合材料的力学性能。从中可以看出,石英玻纤布 /BMP350 复合材料在室温条件下具有良好的综合力学性能。

2.2.2 320℃ 条件下石英玻纤布 /BMP350 复合材料的力学性能

表 6 中列出了 320℃ 条件下石英玻纤布 /BMP350 复合材料的力学性能。可以看出,石英玻纤布 /BMP350 复合材料的所有力学性能在 320℃ 下都有不同程度的下降,其中力学性能最小保持率为 56.1%。由此可见,石英玻纤布 /BMP350 复合材料在 320℃ 干态条件下仍旧保持了较好的力学性能。

2.3 石英玻纤布 /BMP350 复合材料的电性能

石英玻纤布 /BMP350 复合材料在 2~7GHz 测试频率范围内介电性能和测试频率的关系如图 1 及表 7 所示。从图 1 可以看出,石英玻纤布 /BMP350 复合材料在 2~7GHz 频率范围内具有低介电常数和介质损耗角正切值,具有稳定的介电性能。这是由于石英纤维具有极低且稳定的介质损耗角正切值,在 100 MHz~100 GHz 内介

表7 石英玻纤布/BMP350复合材料的介电性能

| 频率 /MHz | 介电常数 | 介质损耗角正切值 |
|---------|------|----------|
| 2379 | 4.21 | 0.0142 |
| 2761 | 4.27 | 0.0136 |
| 3300 | 4.30 | 0.0130 |
| 3931 | 4.31 | 0.0127 |
| 4617 | 4.30 | 0.0126 |
| 5336 | 4.29 | 0.0126 |
| 6075 | 4.26 | 0.0124 |
| 6827 | 4.24 | 0.0121 |

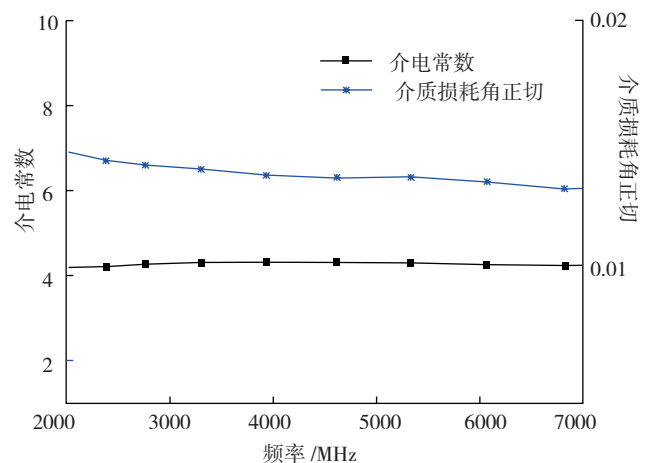


图1 介电性能曲线

Fig.1 Dielectric property fitting

(下转第 62 页)

技术)可统称为复合材料闭模成型技术。由于涡扇发动机风扇叶片双曲面、大扭转、变截面的结构形式极为复杂,采用常规的热压罐成型技术无法充分保证成型后零件的尺寸精度,而闭模成型技术可实现零件高精度成型,同时零件的质量一致性好的特点刚好能够满足涡扇发动机对风扇叶片极高的质量要求。故闭模成型技术已成为复合材料风扇叶片的最主流成型技术,如 GKN 公司模压成型罗·罗公司的叶片以及 Snecma 公司利用 RTM 工艺制造 LEAP-X 发动机叶片。

随着技术的发展和进步,国外出现了采用复合材料材质的模具替代金属成型模具的趋势,其优点为采用复合材料材质加工制造的模具的热膨胀系数与复合材料零件的热膨胀系数基本一致,成型的零件具有更高的尺寸精度。如 GE90-94、GE90-115B、GENx-1B、GENx-2B 复合材料风扇叶片均采用了 HEXCEL 公司的 HexTOOL[®]M61 制造了复合材料材质的模具替代了金属模具,见图 6。

根据国外相关报道,LEAP-X 发动机的生产厂商 CFM (Snecma 与 GE 公司共同控股公司)也准备选用 HEXCEL 公司的 HexTOOL[®] 材料进行模具的加工。



图6 风扇叶复合材料质成型模具
Fig.6 Composites press mold

在钛合金包边成型技术方面,GE 公司直接采用了数控机床加工的方式进行了 GE90、GENx 复合材料风扇叶片钛合金包边的加工。

此外,大量的模拟技术也应用于复合材料风扇叶片的成型技术中,如法国 ESI-ATE 集团针对模压技术和 RTM 技术分别开发了 PAM-FORM 及 PAM-RTM 模拟软件,可采用计算机仿真的手段模拟在模压成型工艺中的预制体纤维角度的变化以及对最终零件的变形影响,也可在 RTM 工艺中模拟纤维渗透率、树脂流动、固化速率等多个工艺参数的变化对零件最终成型质量的影响。合理采用模拟技术可以在成型工艺技术研究的前期对成型技术进行方向性的指导,降低成本、缩短研制周期、规避研制风险。

3 结束语

随着技术的进步,复合材料风扇叶片已经被越来越多的商用发动机所采用,而制造过程的自动化、高效率,材料的高性能,成型工艺的高精度、高可靠性和一致性是复合

材料风扇叶片制造技术的发展方向。随着我国自主设计的大型民用客机 C919 开始研发,其对商用发动机的需求为我国的复合材料风扇叶片制造技术的发展提供了良好的机遇,虽然我国的复合材料风扇叶片制造技术尚处于技术积累阶段,但终有一天,我国的商用大飞机终能采用自主研发的涡扇发动机飞上蓝天。

参考文献

- [1] The GENx Theatre. General Electric [EB/OL].2007[2014-04].<http://www.geaviation.com/education/theatre/genx/>.
- [2] Chris R.Aviation Outlook:Composites in commercial aircraft jet engines.High Performance Composites,2008(9):63-94.
- [3] 李杰.GE 复合材料风扇叶片的发展和工艺.航空发动机,2008,34(4):54-56.
- [4] Aono H .Development of GE90 Engine with Largest Thrust. Ishikawajima-Harima Engineering Review ,1994,34(3):161-166.
- [5] Yonetani G .The history of the ETOPS and the airline's approach.Aviation Technology,2002,12:23-29.
- [6] Mecham M. GENx development emphasizes composites, combustor technology. Aviation Week [EB/OL].2007[2014-04].http://www.aviationweek.com/aw/jsp_includes/articlePrint.jsp?storyID=news/aw041706p1.xml&headLine=GENx%20Development%20Emphasizes%20Composites,%20Combustor%20Technology.
- [7] Paiste D.GENx—a new generation of jet engines.Union Leader [EB/OL].2011-10-23[2014-04].<http://www.unionleader.com/article/20111023/NEWS02/710239963>.
- [8] Portsmouth A. Composite Fan Systems.GKN AEROSPACE [EB/OL].2013[2014-04].www.gkn.com.
- [9] Rochester M. Snecma N H and partner AEC create resin-transfer engine blade process. Aviation Week & Space Technology,2012,9:74-77.

(责编 亿霖)

(上接第 57 页)

电常数保持不变,介质损耗角正切的变化也非常小^[2],且聚酰亚胺树脂具有低介电常数和较低的介质损耗,两者复合后获得了明显的性能优势^[3]。石英玻纤布/BMP350 复合材料具有优良的介电性能,可作为宽频高透波材料广泛使用于航空、航天等领域。

3 结论

石英玻纤布增强 BMP350 聚酰亚胺树脂基复合材料具有稳定的热物理性能、优良的综合力学性能和优良的电性能,可作为高透波材料在 320℃ 下使用。

参考文献

- [1] 刘强,王晓亮,蒋蔚,等.BMP 系列热固性聚酰亚胺树脂基复合材料的应用进展.航空制造技术,2009(s):22-24.
- [2] 赵伟栋,王磊,董波等.PMR 型聚酰亚胺树脂基复合材料研究及应用.航空材料工艺,2009,4:1-5.
- [3] 张雄,王义,程海峰,等.石英纤维透波复合材料的研究进展.材料导报,2012,5(26):96-100.

(责编 谷雨)