

RFI工艺成型两种环氧树脂基复合材料性能比较

马 立

(北京卫星制造厂,北京 100080)

文 摘 采用 RFI工艺分别成型了 648和 5228A 环氧树脂基复合材料层合板,其增强材料为碳纤维无屈曲织物,铺层方式为 $[(0,90)/(±45)]_s$;测试了两组层合板的拉伸性能、弯曲性能和层间剪切性能并做了比较分析;对破坏形式和机理进行了探讨。结果表明:5228A 相对于 648 环氧树脂膜有较宽的低黏度区域,较长的凝胶时间;5228A 与 648 层合板相比,拉伸强度高 106%,拉伸模量、泊松比接近;弯曲强度高 58%,弯曲模量高 16%;层间剪切强度高 62%。

关键词 RFI无屈曲织物,648 环氧树脂基复合材料,5228A 环氧树脂基复合材料,力学性能

Properties Comparison Between Two Epoxy Matrix Composites Formed by RFI Process

Ma Li

(Beijing Spacecrafts Manufacture Factory, Beijing 100080)

Abstract Epoxy 648 and epoxy 5228A matrix laminates were formed by RFI process, which were reinforced by carbon fiber non-crimp fabric (NCF) and ply orientation was $[(0,90)/(±45)]_s$. Mechanical properties of two laminates, such as tensile properties, flexural properties, interlaminar shear properties, were tested and compared. The failure mode and mechanism were discussed. The results show that epoxy film 5228A has a wider range of low viscosity, longer gelation time, compared with epoxy film 648. Epoxy 5228A matrix laminate has 106% higher tensile strength, 58% higher flexural strength, 16% higher flexural modulus, and 62% higher LSS than that of epoxy 648 matrix laminate. The tensile modulus and poisson's ratio of them are similar.

Key words Resin film infusion (RFI), Non-Crimp fabric (NCF), Epoxy 648 matrix composites, Epoxy 5228A matrix composites, Mechanical property

1 引言

RFI是一种树脂膜渗透成型工艺,属低成本成型工艺,适合制造大型制件,如飞机的机翼、嵌板、盖盆、支架、龙骨、垂尾等。国内有些科研单位近年来对这种工艺方法开展了预先研究^[1~4],但还没有实现工程化应用。

本文选用了两种环氧树脂膜(648和 5228A 环氧树脂膜)为基体材料,在流变学分析和热分析的基础上,针对其特点分别制定了 RFI工艺的固化制度,成型了铺层方式为 $[(0,90)/(±45)]_s$ 的层合板(以下简称层合板),测试了两组层合板的拉伸性能、弯曲性能和层间剪切性能并做了比较分析,对破坏形式和机理进行了探讨。

2 试验

2.1 原材料

增强材料采用两种 T700-12K 碳纤维无屈曲织物(NCF,以下简称织物),由航天材料及工艺研究所

提供。一种是 $(0°/90°)$ 、面密度 449 g/m^2 的织物;另一种是 $(±45°)$ 、面密度 583 g/m^2 的织物。

基体材料:648 环氧树脂膜(51 g/m^2),自制;5228A 环氧树脂膜(219 g/m^2),由北京航空材料研究院提供。

2.2 仪器与设备

热压罐固化层合板, Gemini 200 流变仪测试树脂膜的流变学性能, PE Pyris 1 差示扫描量热仪测试树脂膜的 DSC 曲线, Instron 5567 万能材料试验机测试层合板的拉伸、弯曲和层间剪切性能。

2.3 试验方法与标准

2.3.1 流变学性能分析

用流变仪分别测试 648 和 5228A 环氧树脂膜黏度随温度变化的规律(升温速率为 10 /min);100

恒温条件下 648 环氧树脂膜黏度随时间变化的曲线;130 恒温条件下 5228A 环氧树脂膜黏度随时间变化的曲线。

收稿日期:2007-10-16;修回日期:2007-12-14

作者简介:马立,1973年出生,高级工程师,主要从事成型技术研究及航天器复合材料结构件的研究工作。E-mail: mali0335@googlemail.com

2.3.2 差示扫描量热分析

用差示扫描量热仪测试了 648 环氧树脂膜和 5228A 环氧树脂膜在升温速率为 10 /min 条件下的 DSC 曲线。

2.3.3 力学性能测试

按照 GB/T 3354—1999 制备、测试了两组各 5 件尺寸为 230 mm × 25 mm 的拉伸试样。按照 GB/T 3356—1999 制备、测试了两组各 5 件尺寸为 116 mm × 12.5 mm 的弯曲试样。按照 GB 3357—82 制备、测试了两组各 10

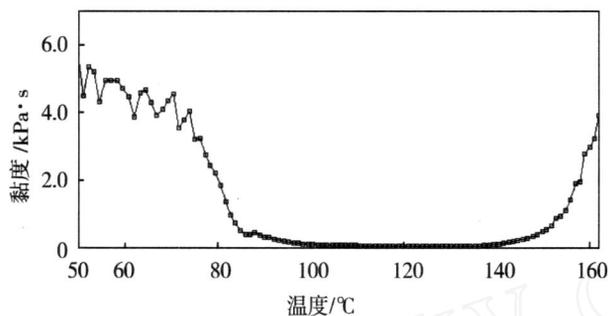
件尺寸为 25 mm × 6 mm 的层间剪切试样。

试样的铺层方式为 [(0, 90) / (±45)]_s, 厚度约值 2.3 mm, 纤维体积分数 54% ~ 56%, 胶膜放置在织物的层间和底部。

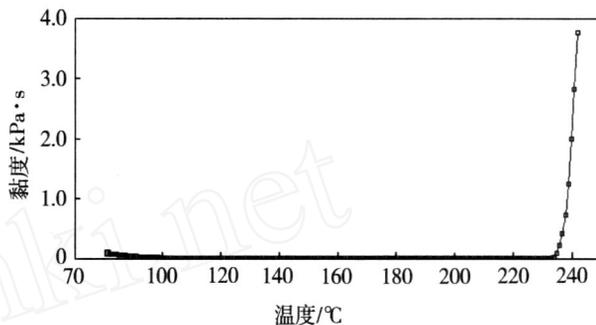
3 结果与分析

3.1 流变学性能

648 和 5228A 环氧树脂膜黏度随温度的变化曲线见图 1。648 环氧树脂膜在 100 ~ 140 内黏度最低; 5228A 环氧树脂膜在 90 ~ 230 内黏度最低。



(a) 648 树脂膜



(b) 5228A 树脂膜

图 1 648 和 5228A 树脂膜黏度随温度的变化

Fig 1 Viscosity of epoxy film 648 and 5228A as function of temperature

648 膜 100 恒温条件下黏度随时间的变化见图 2。5228A 膜 130 恒温条件下黏度随时间的变化见图 3。

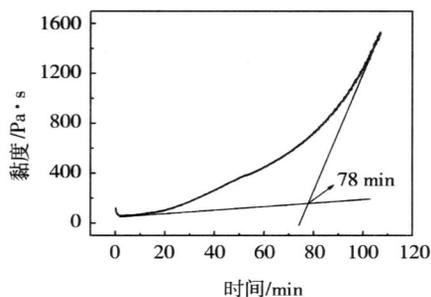


图 2 648 树脂膜在 100 恒温下黏度随时间的变化

Fig 2 Viscosity variation of epoxy film 648 at 100

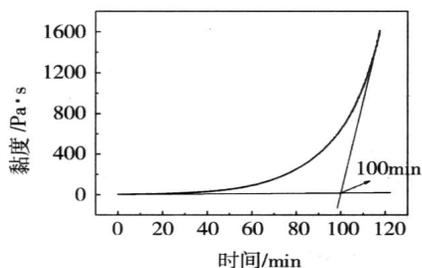


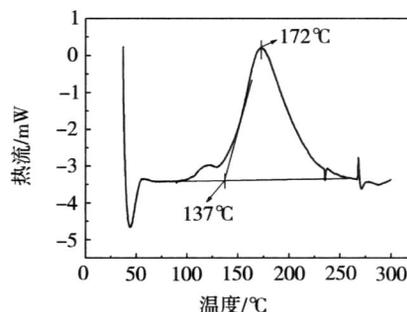
图 3 5228A 树脂膜在 130 恒温下黏度随时间的变化

Fig 3 Viscosity variation of epoxy film 5228A at 130

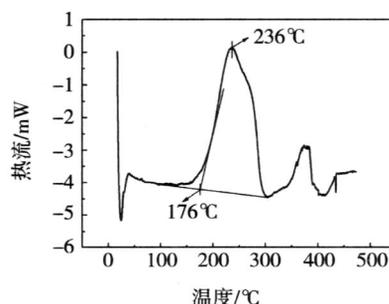
648 环氧树脂膜在 100 恒温条件下的凝胶时间为 78 min, 5228A 环氧树脂膜在 130 恒温条件下的凝胶时间为 100 min。由流变学研究结果得知, 5228A 相对于 648 环氧树脂膜有较宽的低黏度区域, 较长的凝胶时间 (在一定温度条件下)。

3.2 差示扫描量热分析

648 和 5228A 环氧树脂膜的 DSC 曲线见图 4。由热分析的结果得知, 648 环氧树脂膜的起始反应温度为 137、峰顶温度为 172; 5228A 环氧树脂膜的起始反应温度为 176、峰顶温度为 236。



(a) 648 树脂膜



(b) 5228A 树脂膜

图 4 648 和 5228A 树脂膜的 DSC 曲线

Fig 4 DSC curves of epoxy film 648 and 5228A

3.3 RF 工艺固化制度

以流变学和热分析的结果为依据, 初步制定了两种层合板的 RF 工艺的固化制度, 经几次工艺试验优

化工艺参数,最终确定了固化制度^[5]。两种层合板的固化曲线见图 5。

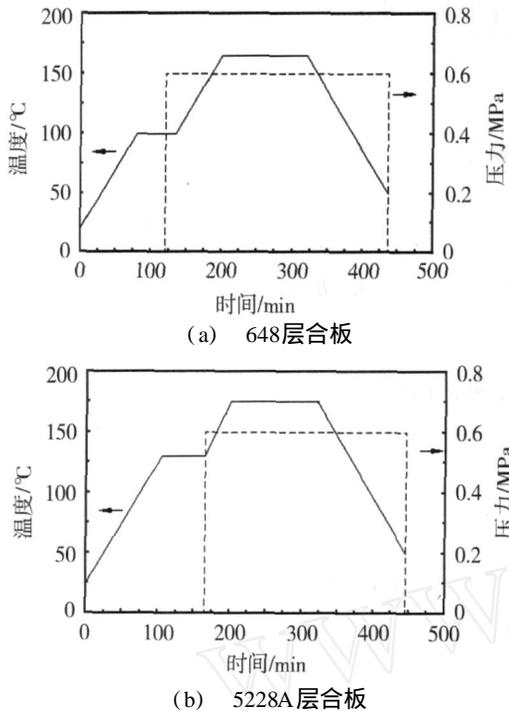


图 5 648和 5228A 树脂基层合板的固化曲线

Fig 5 Curing system of epoxy 648 and 5228A matrix laminate

3.4 力学性能

3.4.1 性能数据

648层合板和 5228A层合板的力学性能见表 1。5228A层合板与 648层合板相比,拉伸强度高 106%,拉伸模量、泊松比接近;弯曲强度高 58%,弯曲模量高 16%;层间剪切强度高 62%。可见 5228A层合板的力学性能优于 648层合板。

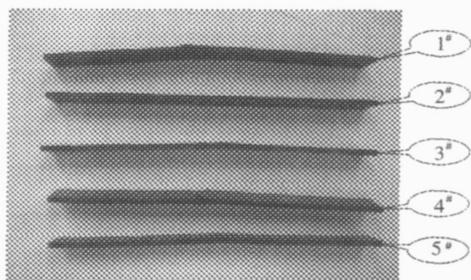
表 1 力学性能数据

Tab 1 Tensile properties

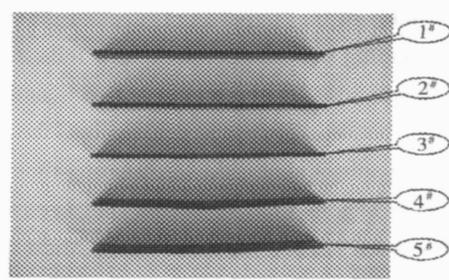
层合板	拉伸性能			弯曲性能		剪切强度
	σ_t / MPa	E_t / GPa	μ_{LT}	σ_f / MPa	E_f / GPa	
648	221	46.4	0.31	500	57.7	34.6
5228A	455	41.6	0.32	790	66.9	55.9

3.4.2 破坏形式

648层合板和 5228A层合板的拉伸破坏形式相同,断口整齐、无明显劈裂性脆断现象。648层合板 5件弯曲试样中拉伸面破坏的 4件(试样 1[#]、3[#]、4[#]、5[#]),承压面破坏的 1件(试样 2[#]),见图 6(a);5228A层合板 5件弯曲试样中承压面破坏的 4件(试样 1[#]、2[#]、3[#]、5[#]),拉伸面破坏的 1件(试样 4[#]),见图 6(b)。这说明,5228A环氧树脂的韧性好于 648环氧树脂,所以拉伸面拉伸性能更好,拉伸面破坏的少,主要是承压面的压缩破坏。



(a) 648层合板



(b) 5228A层合板

图 6 648和 5228A层合板弯曲破坏形式

Fig 6 Flexural failure mode of epoxy 648 and 5228A matrix laminate

648和 5228A层合板的层间剪切破坏形式相同,目视试样的断面上有不明显的微裂纹,未见层间贯穿性裂纹。

3.4.3 破坏机理分析

增强材料——无屈曲织物是由缝线将按一定方式铺放的两层碳纤维缝在一起的,其复合材料层合板由于层间有缝线的连接而提高了层间性能。在外力作用下,层合板的分层扩展遇到织物的缝线后即中止,其分层区域小,缝线可以有效地抑制或延缓裂纹扩展而分层。

4 结论

5228A环氧树脂膜相对于 648环氧树脂膜有较宽的低黏度区域,较高的凝胶温度,较长的凝胶时间。5228A层合板与 648层合板相比,拉伸强度高 106%、弯曲强度高 58%、层间剪切强度高 62%。无屈曲织

物增强的层合板由于层间缝线的连接使得层合板的整体性好、层间剪切性能高、损伤区域小。

参考文献

- 1 代晓青,谭艳,刘钧. RFI工艺用环氧树脂基体研究. 玻璃钢/复合材料, 2006; (1): 17~20
- 2 高艳秋,赵龙,黄峰等. 纵横加筋复合材料壁板缝合/RFI整体成型工艺研究. 见:第十四届全国复合材料学术会议论文集, 2006: 1 002~1 005
- 3 张国利,李嘉禄,杨彩云等. RFI工艺用环氧基树脂膜的研制. 固体火箭技术, 2006; 29(2): 142~145
- 4 张国利,李嘉禄,姚承照等. 增黏成型 RFI层合板复合材料性能的实验研究. 宇航材料工艺, 2006; 36(3): 19~21
- 5 马立. 环氧树脂膜 RFI工艺研究. 宇航材料工艺, 2007; 37(5): 34~38

(编辑 李洪泉)