

湿热环境对 T700/5429 弯曲和面内压缩强度的影响

孟江燕¹ 王云英¹ 向东东¹ 丁祖群² 李超²

(1 南昌航空大学材料科学与工程学院,南昌 330063)

(2 中航工业成都飞机工业集团公司,成都 610092)

文 摘 用热压罐法制备了单向碳纤维增强双马来酰亚胺树脂基(T700/5429)复合材料层压板。在 45、85℃水浴的湿热环境下,对层压板进行了 90 d 的浸泡,测试了浸泡前后的红外吸收光谱、吸湿率、弯曲和面内压缩强度。结果表明:浸泡 90 d 后树脂基体未出现新的吸收峰;其吸湿率变化是扩散行为并可用菲克扩散定律描述;其弯曲和面内压缩强度随浸泡时间的变化是非线性的,即分形的,其中弯曲强度变化的分形维数 45℃时为 1.10、85℃时为 1.07,面内压缩强度变化的分形维数 45℃时为 1.04、85℃时为 1.05,说明复合材料弯曲强度和面内压缩强度随浸泡时间的变化具有一定的复杂性。

关键词 T700/5429 复合材料,湿热,吸湿率,弯曲强度,面内压缩强度,分形

Effect of Hydrothermal Environment on Flexural and In-Plane Compressive Strength of T700/5429

Meng Jiangyan¹ Wang Yunying¹ Xiang Dongdong¹ Ding Zuqun² Li Chao²

(1 School of Material Science and Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063)

(2 AVIC Chengdu Aircraft Industrial Corporation, Chengdu 610092)

Abstract The hydrothermal properties of unidirectional reinforcement composite laminates T700/5429 are presented in this paper. T700/5429 laminate are made by autoclave, the specimens were soaked at temperature of 45℃ and 85℃ in water bath for a period of 90 days. FT-IR, moisture absorption rate, the flexural and in-plane compressive strengths were measured and analyzed before and after immersed. The results showed that the new absorption peaks of resin matrix did not appear for their FT-IR, the moisture absorption of composite belongs to diffusion behavior and could be described by Fick's Law. The relations of the flexural and in-plane compressive strength of the composites with immersion time is not linear, that is fractal. The fractal dimension of flexural strength is 1.10 (45℃), 1.07 (85℃), and the fractal dimension of in-plane compressive strength is 1.04 (45℃), 1.05 (85℃). It is showed that the changes of flexural and in-plane compressive strength of composite between immersion time have some degree of complexity.

Key words T700/5429 composite, Hydrothermal, Absorption, Flexural strength, In-plane compressive strength, Fractal

0 引言

碳纤维/聚合物基复合材料具有高的比强度、比刚度及优良的耐烧蚀性能等特点,在航空航天领域的应用越来越广泛。复合材料除了承受各种复杂的、长时间的疲劳载荷外,还要在光、湿热环境下使用^[1],这些环境因素会对复合材料产生较为复杂的影响,国

内外学者对其进行了一系列研究^[2-12]。吕新颖等^[13]研究发现湿热环境对聚合物基复合材料力学性能影响较大。刘建华等^[14]对 T300/5405 复合材料的吸湿性进行了研究,而对于 T700/5429 复合材料在湿热环境下的结构与性能变化尚未见详尽报道。

本文通过热压罐工艺制备了单向碳纤维增强双

收稿日期:2011-10-28;修回日期:2012-01-18

基金项目:航空科学基金资助项目(2010ZF56025)

作者简介:孟江燕,1963 年出生,副教授,主要从事高分子材料老化方面的研究。E-mail:niat_meng@sohu.com

马来酰亚胺树脂基复合材料 T700/5429 层压板,测试其水中浸泡前后的红外光谱、吸湿率和弯曲强度和面内压缩强度,研究分析湿热环境对其结构与性能的影响规律。

1 实验

1.1 T700/5429 单向层压板的制备

用 T700/5429 预浸料在模具上铺层至 2 mm,置热压罐中,对预浸料的贴模面抽真空,升温至 100℃ 时热压罐加压至 0.6 MPa,升温至 150℃,保温保压 3 h;升温至 200℃,保温保压 4.5 h;最后随炉冷却至 60℃。将层压板按相关性能测试标准制成测试试样。

1.2 浸泡

参照 GB/T 2573—2008,将侧面封闭处理的 T700/5429 试样分别浸入 (45±1)℃、(85±2)℃ 的水浴中,水为市购的饮用纯净水,每 10 d 为 1 个周期。

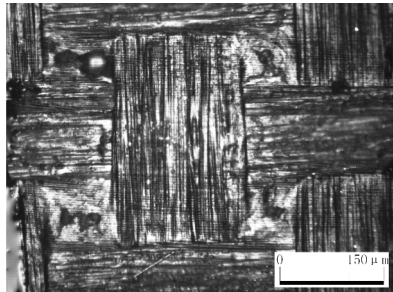
1.3 性能测试和表征

1.3.1 外观

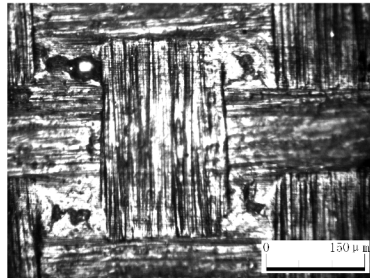
用光学显微镜观察浸泡前后的外观。

1.3.2 傅里叶红外光谱分析

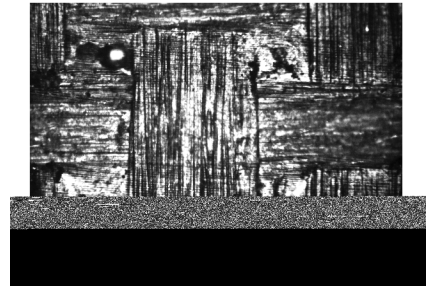
用 KBr 压片法,将浸泡前和浸泡 90 d 后的试样制成粉末,按 1:50 质量比加入 KBr,混合均匀、压片,采用红外光谱仪进行测试,分辨率为 4 cm⁻¹。



(a) 0 d



(b) 45°C/40 d



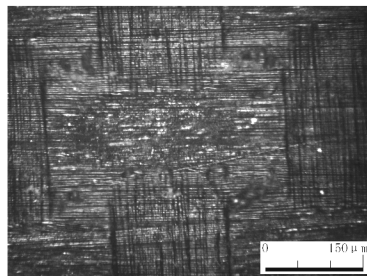
(c) 45°C/90 d

图 1 T700/5429 复合材料 45℃ 浸泡前后照片

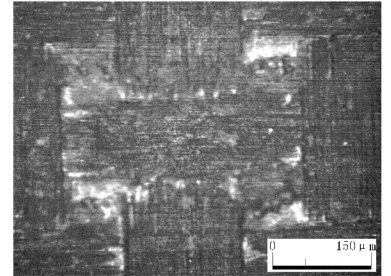
Fig. 1 Morphologies of T700/5429 composites before and after 45°C immersion

2.1.2 85℃ 浸泡的外观照片

图 2 为 T700/5429 复合材料 85℃ 浸泡不同时间的外观照片。从图中可以看出,浸泡 90 d 后在外观



(a) 0 d



(c) 85°C/90 d

图 2 T700/5429 复合材料 85℃ 浸泡前后照片

Fig. 2 Morphologies of T700/5429 composites before and after 85°C immersion

1.3.3 吸湿率测试

采用重量法测定复合材料试样的吸湿率,采用下述方法是为了保持称重时条件严格一致:用 50% 的酒精溶液把试样清洗干净后,放入 50℃ 的烘箱中烘 10 min,再放入干燥皿中,用分析天平称重,精确至 0.1 mg。

吸湿率按公式(1)计算:

$$M_t = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, W_0 、 W_t 分别为试样未浸泡和浸泡后的质量。

1.3.4 弯曲强度测试

按 GB/T 3356—1999 在万能力学性能试验机上,以 4 mm/min 的加载速率测试复合材料试样的弯曲强度,试样尺寸为 80 mm×10 mm×2 mm。

1.3.5 面内压缩强度

参照 GB/T 5258—2008 测试面内压缩强度, A2 型剪切加载方式,加载速率为 1 mm/min。

2 结果与讨论

2.1 外观变化

2.1.1 45℃ 浸泡的外观照片

图 1 为 T700/5429 复合材料 45℃ 下浸泡后的外观照片,可以看出,浸泡前后在外观上几乎没有变化。

上略有变化。说明高温下浸泡会对复合材料的外观有一定程度的影响。

2.2 红外光谱分析

图3给出T700/5429复合材料浸泡不同时间红外光谱测试结果,可以看出,红外光谱上的特征峰位置和峰的相对高度均未发生变化,也未产生新的峰。因此说明在浸泡过程中双马来酰亚胺树脂并未发生化学反应,其化学结构未发生变化。

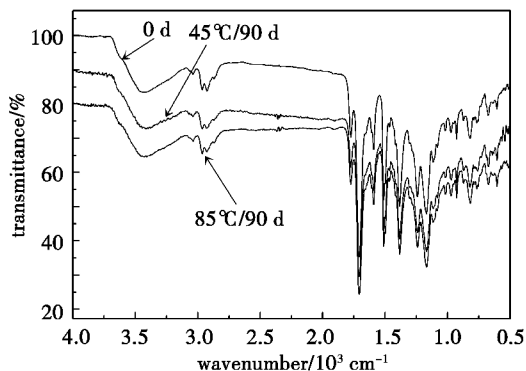


图3 T700/5429 复合材料红外光谱

Fig. 3 Infrared spectrometry of T700/5429 composites under different hydrothermal conditions

2.3 吸湿率

T700/5429 层压板的吸水,是水通过扩散方式进入树脂基体,甚至到达树脂与纤维的界面,严重时会引起界面脱粘等破坏^[15]。根据式(1)计算其吸湿率 M_t, M_∞ 随浸泡时间的变化如图4所示。由图4可见:(1) 浸泡温度越高、吸湿率越大。这是因为一方面树脂基体的大分子链段松弛运动越快、空间越大,另一方面温度越高,水分子扩散的速度越快;(2) 浸泡温度为85℃时,浸泡90 d 还未达到饱和;(3) 浸泡温度为45℃时,情况比85℃更复杂一些,吸湿率曲线出现了2个平台,在浸泡70 d 后达到饱和。

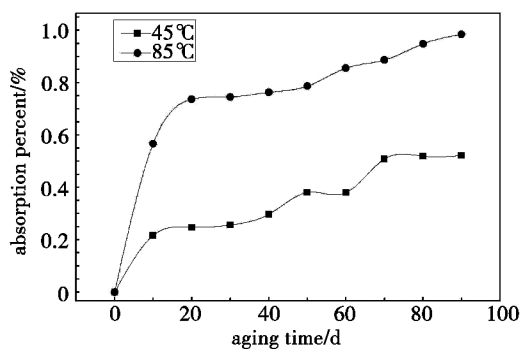


图4 T700/5429 复合材料的吸湿率曲线

Fig. 4 Moisture absorption of T700/5429 composites

2.4 弯曲强度

T700/5429 复合材料在45℃与85℃湿热环境下的弯曲强度变化如图5所示,可以看出,在浸泡时间内,复合材料的弯曲强度并未出现降低的现象,而是

出现了上下波动的现象,即分形现象,这与文献[16]的聚酯玻璃钢老化时弯曲强度变化趋势是一致的。复杂不规则的图形要用分形理论来描述和表征,分形维数(分维)是最直观的描述。用分维来描述变化的复杂程度时,分维的数值越大则复杂程度越高。

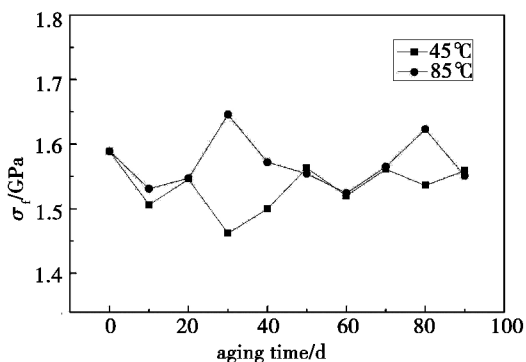


图5 T700/5429 复合材料弯曲强度与浸泡时间的关系

Fig. 5 Relations of flexural strength of T700/5429 composite with immersion time

采用改变观察尺度求维数的方法计算曲线的维数如下^[16-17]:

根据测量长度 r 和测量次数 N 的关系式:

$$N = (1/r)^d \times b \quad (2)$$

式中, b 为常数, d 为分形维数。

分别取测量长度为 $r=3$ d 和 5 d 的尺度,测得45℃浸泡曲线的总次数分别为 $N=37$ 次和 21 次,测得85℃浸泡曲线的总次数分别为 $N=38$ 次和 22 次。

将测得的数据代入式(2)中,计算得到弯曲强度变化的分形维数分别为: $d_{45^\circ\text{C}} = 1.10$ 、 $d_{85^\circ\text{C}} = 1.07$ 。

这说明 T700/5429 复合材料在湿热环境下的弯曲强度变化有一定的复杂性,且45℃的浸泡环境比85℃的浸泡环境还要复杂一些。

2.5 面内压缩强度

T700/5429 复合材料在45℃和85℃浸泡条件下的面内压缩强度变化见图6。

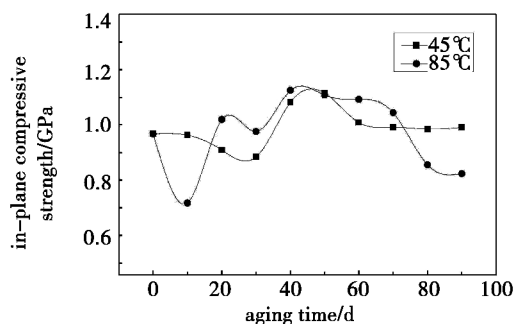


图6 T700/5429 复合材料面内压缩强度与浸泡时间的关系

Fig. 6 Relations of in plane compressive strength of T700/5429 composites with immersion time

图6可以看出,在浸泡时间内,复合材料的内压缩强度在45℃浸泡条件下并未出现降低的现象,而是出现了上下波动的现象,即分形现象,这与弯曲强度变化趋势是一致的;而85℃浸泡条件下的内压缩强度变化波动更大,到后期比初始强度略有下降。

采用弯曲强度分形维数相同的方法,计算得到内压缩强度变化的分形维数分别为: $d_{45^\circ\text{C}} = 1.04$ 、 $d_{85^\circ\text{C}} = 1.05$ 。

这说明T700/5429复合材料在湿热环境下的内压缩强度变化有一定的复杂性,且85℃的浸泡环境比45℃的还要复杂一些。

3 结论

(1)T700/5429在45℃和85℃两种温度浸泡的湿热环境下,并未产生新基团,说明该复合材料的树脂基体双马来酰亚胺的主链结构没有发生明显变化;

(2)T700/5429复合材料的吸湿表现为扩散现象,可用菲克扩散定律描述其变化规律;

(3)T700/5429复合材料在45℃和85℃湿热环境下,弯曲强度随浸泡时间的变化表现出分形的现象,其分形维数分别为:45℃时1.10、85℃时1.07,说明其变化具有一定的复杂性;

(4)T700/5429复合材料在45℃和85℃湿热环境下,内压缩强度随浸泡时间的变化表现出分形的现象,其分形维数分别为:45℃时1.04、85℃时1.05,说明其变化具有一定的复杂性。

参考文献

[1] Selzer R, Friedrich K. Mechanical properties and failure behavior of carbon fiber-reinforced polymer composites under the influence of moisture [J]. *Composites Part A*, 1997 (28A): 595-604

[2] 王云英,刘杰,孟江燕,等. 纤维增强聚合物基复合材料老化研究进展[J]. *材料工程*, 2011(7): 63-67

[3] Bhavesh G, Kumar, Raman P S. Degradation of carbon fiber-reinforced epoxy composites by ultraviolet radiation and condensation [J]. *Journal of Composite Materials*, 2002, 36 (24): 2713-2733

[4] 孟江燕,王云英,赵晴,等. 通用不饱和聚酯加速老化

失效机理研究[J]. *失效分析与预防*, 2009, 4(2): 65-70

[5] 郑路,常新龙,赵峰,等. 湿热环境中复合材料吸湿性研究[J]. *纤维复合材料*, 2007(2): 37-39

[6] Arash B, Asghar N. Interlaminar hydrothermal stresses in laminated plates [J]. *International Journal of Solids and Structures*, 2007, 44: 8119-8142

[7] 李敏,张宝艳. 5428PI700复合材料的耐湿热性能[J]. *纤维复合材料*, 2006(1): 3-5

[8] Ray B C. Temperature effect during humid ageing on interfaces of glass and carbon fibers reinforced epoxy composites [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2006, 298: 111-117

[9] 田莉莉,刘道新,张广来,等. 温度和应力对碳纤维环氧复合材料吸湿行为的影响[J]. *玻璃钢/复合材料*, 2006(3): 14-18

[10] 吕小军,张琦,马兆庆,等. 湿热老化对碳纤维/环氧树脂基复合材料力学性能影响研究[J]. *材料工程*, 2005(11): 50-54

[11] Bao L R, Yee A F. Moisture diffusion and hydrothermal aging in bismaleimide matrix carbon fiber composites, Part I: unweave composites [J]. *Composites Science and Technology*, 2002, 62(16): 2099-2110

[12] 朱春芽,赵晴,孟江燕,等. 不饱和聚酯玻璃钢人工加速老化研究[J]. *失效分析与预防*, 2008, 3(3): 12-16

[13] 吕新颖,江龙,闫亮. 碳纤维复合材料湿热性能研究进展[J]. *玻璃钢/复合材料*, 2009(3): 76-80

[14] 刘建华,曹东,张晓云,等. 树脂基复合材料T300/5405的吸湿性能及湿热环境对力学性能的影响[J]. *航空材料学报*, 2010, 30(4): 75-80

[15] 周同悦,于运花,陈伟明,等. 乙烯基酯树脂及其碳纤维复合材料的湿热老化行为[J]. *高分子材料科学与工程*, 2006, 22(5): 166-169

[16] 孟江燕,王云英,张建国. 聚酯玻璃钢氙灯加速老化弯曲强度的分形现象研究[J]. *玻璃钢/复合材料*, 2011(3): 45-47

[17] Peitgen H O, Jurgens H, Sauge D. 田逢春译. 混沌与分形-科学的新疆界(第2版)[M]. 北京:国防工业出版社, 2008: 136-138

(编辑 吴坚)