

# 碳纤维/钛超混杂复合材料老化性能研究

方旭东

( 北京航空航天大学材料科学与工程系 北京 100083 )

杨鸿昌 安章荣

( 中国海鹰机电技术研究院 北京 100074 )

**文 摘** 对碳纤维/钛超混杂复合材料 CTIL-1 在高温高湿的条件下进行加速老化试验,为了便于分析比较,同时列出了 T300/648 在相同老化条件下的拉伸、弯曲和层剪性能。在加速老化 180 d 后,CTIL-1 的拉伸、弯曲性能的保留率均在 80% 以上,层剪强度保留率也在 60% 以上,表明该材料有较好的老化性能。

**关键词** 超混杂复合材料,加速老化

## Research on C/Ti Super Hybrid Composite Ageing Properties

Fang Xudong

( Dept. of Materials Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics Beijing 100083 )

Yang Hongchang An Zhangrong

( China Sea-eagle Electromechanics Group Beijing 100074 )

**Abstract** Accelerated aging test was conducted on C/Ti super Hybrid Composite CTIL-1 under condition of high temperature and high humidity. Tensile, bending and shear properties of T300/648 under the same aging condition were presented for comparison. Tensile, bending properties of the CTIL-1 were with a retention rate of more than 80% and the shear strength of CTIL-1 was with more than 60%, after 180 days of accelerated aging. Experimental results indicate that CTIL-1 has preferable aging properties.

**Key words** Super hybrid composite, Accelerated ageing

### 1 前言

传统的金属材料(如钛合金)疲劳性能较差,而纤维增强树脂基复合材料(FRP)单向力学性能虽高,但铺层后性能降低很多,并且其韧性不足,FRP/金属超混杂复合材料可克服这两种材料的弱点。碳纤维/钛超混杂复合材料(以下简称 CTIL)由钛合金薄板和碳纤维预浸料交替铺叠后在热压机上加压固化而成。CTIL 可以综合碳纤维增强树脂基复合材料(CFRP)和钛合金的优点。钛合金的各向同性弥补 CFRP 横向性能弱的缺点,纤维全部沿主承力方

向铺层,可充分发挥 CFRP 单向力学性能好的优点;CTIL 的疲劳性能比钛合金优异<sup>[1]</sup>;同时表层的钛合金能改善整个材料的抗冲击等性能。由于钛合金拉伸性能优异、热膨胀系数较低、耐腐蚀性良好<sup>[2]</sup>和相对较低的密度,使得 CTIL 的力学性能非常突出,并有较好的抵抗环境侵蚀的能力。荷兰的 Delft 大学和美国兰利公司曾对 CTIL 作过研究,他们的出发点是研制一种疲劳性能好、能耐高温的材料。我们已研制的碳纤维/钛超混杂复合材料(简称 CTIL-1)比强度、比模量高,综合力学性能优于钛合金,密度

收稿日期:2001-08-22;修回日期:2002-01-20

方旭东,1971 年出生,工程师,主要从事复合材料工艺的研究工作

宇航材料工艺 2002 年 第 2 期

— 35 —

相当于铝合金,其拉伸强度和模量大大超过实用的CFRP,是一种性能优良的新型结构材料(见表1)。

表1 几种材料性能比较

材料类型	拉伸强度/MPa		拉伸模量/GPa		密度 /g·cm <sup>-3</sup>	备注
	纵向	横向	纵向	横向		
CTIL-1	999	678	132	90	3.1	2000年中国海鹰机电技术研究院制作
T300/648	696	437	72	48	1.5	[0°/45°/-45°/90°/0°/90°/0°] <sub>s</sub>
铝合金	610	-	68	-	2.8	牌号为LY12-CZ北京有色院研制的
钛合金	982	-	111	-	4.6	高强高模钛合金,经喷砂处理

FRP存在环境老化问题<sup>[3]</sup>,湿热环境对FRP的性能,尤其是层间性能影响较大。CTIL-1实质上是钛合金与CFRP的胶接结构,用于胶接的钛合金表面处理比较困难<sup>[4]</sup>。在实际工程应用中,不仅要求材料初始力学性能良好,而且在一定的储存期内,力学性能不能有大的下降,因此必须认真研究CTIL-1耐恶劣环境侵蚀的能力。鉴于过去已对

T300/648复合材料的老化性能进行过较充分的研究,并得出该材料在环境适应性和可贮存性方面能满足飞航导弹使用要求的结论,因此选取与T300/648复合材料完全相同的试验条件对CTIL-1进行加速老化试验,并将两者的试验数据进行对比,从而对CTIL-1的环境适应性和可贮存性进行评估。

## 2 试验

### 2.1 CTIL-1 试样的制作

#### (1) 原材料

钛合金: 高强高弹钛合金 Ti-7Al-2Mo-2V-1Fe-0.65B, 厚度 0.27 mm。

纤维: T300 3K 高强碳纤维。

树脂: HD03 环氧树脂。

预浸料: T300/HD03 预浸料, 树脂含量 36% ~ 42%, 单位面积纤维质量 125 g/m<sup>2</sup> ~ 135 g/m<sup>2</sup>, 固化后单层厚度 0.125 mm。

#### (2) 成形工艺

制作 CTIL-1 的工艺路线和热压固化曲线分别见图 1 和图 2。

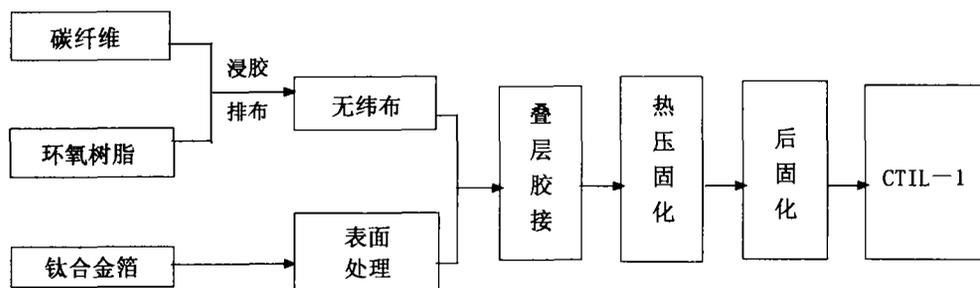


图1 超混杂复合材料成形工艺

Fig.1 Super hybrid composite molding process

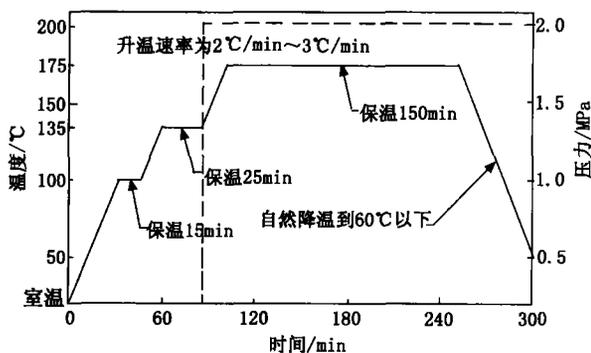


图2 超混杂复合材料热压固化曲线

Fig.2 Heat press curing curve of super hybrid composites

### 2.2 材料加速老化试验

#### (1) 试验件

根据国家标准 GB3354-82、GB3356-82、GB3357-82 分别制作 CTIL-1 的拉伸、弯曲及短梁层剪试样。试样为 3/2 结构, 即 3 层钛合金薄板和 2 层碳纤维预浸料。试样的厚度均为 2 mm。

#### (2) 试验条件

温度为 70°C; 湿度为 RH 95%;

定期各取一组试样进行力学性能测试, 最长环境试验时间 180 d。

#### (3) 试验设备

老化试验箱, 型号 FB401B-1;

万能材料试验机,型号 MTS Sinetech 65/G。

### 3 试验结果及讨论

#### 3.1 试验结果

试验结果如表 2 所示,为了分析比较的方便,在表 3 中列出了 T300/648 在相同试验条件下加速老化试验的数据。

表 2 CTIL-1 加速老化试验数据

Tab.2 Accelerated aging test data of CTIL-1

时间 /d	纵向拉伸强度/MPa	纵向拉伸模量/GPa	弯曲强度/MPa	弯曲模量/GPa	层剪强度/MPa
0	1 180	125	1 802	115	85.9
30	1 162	128	1 746	114	68.2
60	1 290	131	1 772	114	77.1
90	1 252	127	1 860	120	60.7
120	1 239	131	1 566	111	68.1
150	1 198	135	1 587	104	60.6
180	1 220	128	1 482	109	55.2
180 d 保留率/%	103	102	82.2	95.0	64.3

表 3 T300/648 加速老化试验数据

Tab.3 Accelerated aging test data of T300/648

时间 /d	纵向拉伸强度/MPa	纵向拉伸模量/GPa	弯曲强度/MPa	弯曲模量/GPa
0	1 213	143	1 552	125
40	-	-	1 430	123
80	1 090	131	1 352	116
120	-	-	1 430	-
160	1 273	-	1 264	-
180	1 250	-	1 280	-
180 d 保留率/%	103	-	82.5	-

#### 3.2 讨论

(1)从表 2、表 3 可见,CTIL-1 和 T300/648 复合材料一样,在高温高湿条件下的老化过程中,纵向拉伸强度和弯曲强度并非一直下降,而是有一个起伏的过程,这表明温、湿度对材料性能的影响有相互矛盾的两个方面。一方面高温下湿气的渗透,削弱了界面的性能,导致力学性能的下降;另一方面高温使材料中的树脂固化程度增加,引起性能的提高。两种作用的强弱不同和相互消长使材料性能出现起伏。

(2)CTIL-1 在 70℃和 RH95%的条件下存放

180 d,端面未作处理,呈开放状态,相对于实际使用情况而言,这样的条件是相当苛刻的。即便这样,试样的拉伸强度、拉伸模量、弯曲强度、弯曲模量保留率仍均在 80%以上,层剪强度保留率也在 60%以上。可见 CTIL-1 具有优良的环境适应性和耐老化性能。

(3)从表 2 和表 3 可见,在同样的温湿度条件下,CTIL-1 经过 180 d 的加速老化试验,拉伸强度和弯曲强度的保留率分别为 103%和 82.2%,T300/648 复合材料分别为 103%和 82.5%。CTIL-1 经 90 d 加速老化试验后,其纵向拉伸模量和弯曲模量的保留率分别 101.6%和 104.3%,T300/648 复合材料经 80 d 加速老化实验后,保留率分别为 91.6%和 92.8%。

(4)根据文献[5]报道,T300/648 复合材料在 65℃、RH95%环境下经 28 d 加速老化后,层剪强度保留率为 69.5%,而 CTIL-1 在 70℃、RH 95%环境下经 30 d 加速老化后,层剪强度保留率为 79.3%。

(5)从上述比较可见,CTIL-1 的耐老化性能与已有成熟应用的 T300/648 基本相当,可以满足飞航导弹同样环境贮存的使用要求。

### 4 结论

在加速老化试验 180 d 后,CTIL-1 的拉伸、弯曲性能的保留率超过 80%,层剪强度保留率也在 60%以上,表明该材料具有较好的耐老化性能,可以满足飞航导弹环境贮存使用要求。

#### 参考文献

- 1 Rhymer D W, Johnson W S. Fatigue damage mechanisms in advanced hybrid titanium composites laminates in ICCM-13. In: 13<sup>th</sup> International Conference on Composite Materials, 2001:332 ~ 335
- 2 陈绍杰. 复合材料设计手册. 航空航天工业部科学技术研究院,1990:455 ~ 459
- 3 赵渠森. 碳纤维湿树脂复合材料老化实验与吸湿量的计算. 见:第二届全国复合材料学术会议,1982:1 ~ 15
- 4 Miller J L et al. Preliminary evaluation of hybrid titanium composite laminates. NASA Technical Memorandum 109 095, 1994:1 ~ 29
- 5 张骏华等. 导弹和运载火箭复合材料结构设计指南. 北京宇航出版社,1999:169

(编辑 马晓艳)