

# T700/3234 管件力学性能

刘梦媛<sup>1</sup> 王海鹏<sup>1</sup> 陈中强<sup>2</sup> 白树成<sup>1</sup> 洪起虎<sup>1</sup>

(1 北京航空材料研究院,北京 100095)

(2 上海宇航系统工程研究所,上海 201108)

**文 摘** 采用压机压制工艺方法研制了 T700/3234 管件,对其进行了拉伸、压缩和弯曲试验。结果表明, T700/3234 管件胶接长度对于拉伸试验结果影响较大,安装记忆合金环有助于提高管件的抗拉伸性能,有记忆合金环试样可承受的最大拉伸载荷较无记忆合金环试样提高 10.1%;压缩性能试验单独管件与不加记忆合金的金属胶接后的管件对于压缩试验结果影响不大,记忆合金环有助于提高管件的抗压性能,有记忆合金环试样可承受的最大压缩载荷、压缩强度较无记忆合金环试样提高 10.0% 以上,但压缩模量较无记忆合金环试样无变化;有记忆合金环试样可承受的最大弯曲载荷可达 20.433 kN,较无记忆合金环试样提高 5.5%;为高性能碳纤维复合材料管件设计提供了依据。

**关键词** T700/3234 管件,拉伸性能,压缩性能,弯曲性能,记忆合金环

中图分类号:TB332

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.01.013

## Mechanical Properties of The T700/3234 Pipes

LIU Menyuan<sup>1</sup> WANG Haipeng<sup>1</sup> CHENG Zhongqiang<sup>2</sup> BAI Shucheng<sup>1</sup> HONG Qihu<sup>1</sup>

(1 Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

(2 Aerospace Systems Engineering Shanghai, Shanghai 201108)

**Abstract** The T700/3234 pipes manufactured by hot press were presented in this paper. The tensile, compressive and flexural properties of the pipes were tested with or without memory alloy ring. The results show that the pipes with memory alloy ring have an increase of 10.1% on max tensile load, more than 10% on compressive load and compressive strength and 5.5% on flexural load. The pipes with memory ring demonstrate an improvement of mechanical properties except for compressive modulus. The work of this paper establishes a reference for design of high performance carbon fibre composite pipes.

**Key words** T700/3234 pipes, Tensile properties, Compressive properties, Flexural properties, Memory alloy ring

### 0 引言

复合材料具有高的比强度和比模量、力学性能可设计,良好的抗疲劳特性,易于大面积整体成型等优点<sup>[1]</sup>。

T700 碳纤维复合材料耐湿/热性能优良<sup>[2]</sup>, T700/3234 是一种改性环氧碳纤维单向预浸料,固化温度 125℃,可在 -55 ~ 80℃ 长期使用<sup>[3-4]</sup>。

本文根据环氧树脂基碳纤维复合材料的特点,选用 T700/3234 环氧碳纤维单向预浸料,并对预浸料进行铺层设计,设计加工 T700/3234 管件模具,采用压机压制工艺方法研制出厚度 3 mm、直径 50 mm 的

T700/3234 管件。测试了 23℃ 下有记忆合金环和无记忆合金环 T700/3234 管件承受的拉伸最大载荷,弯曲最大载荷,压缩最大载荷、压缩强度及模量,试验证明加记忆合金环有助于提高管件的抗拉伸性能、抗压性能、抗弯曲性能,为高性能碳纤维复合材料管件设计提供了依据。

### 1 试验

#### 1.1 管件材料

管件材料选用 T700/3234 中温固化环氧碳纤维单向预浸料,单层压厚 0.125 mm,树脂含量 (40 ± 3)%,自制;管件力学性能试验试样测试需要加工金

收稿日期:2013-07-30

作者简介:刘梦媛,1964 年出生,高级工程师,研究方向:功能复合材料。E-mail:liumengyuan163@sina.com

属接头,接头材料为 LC9,接头胶接段长度 60 和 80 mm,图 1 是拉伸试样 LC9 铝接头的实物照片。



图 1 LC9 接头

Fig. 1 LC9 tie

管件与 LC9 接头的胶接材料为 SY-37 室温固化胶黏剂,自制;在管件与 LC9 接头胶接区域的端面加记忆合金环(自制),记忆合金环经加热收缩,增加管件与铝接头的胶接强度,使管件与铝接头结合紧密。

### 1.2 管件模具

T700/3234 管件采用压机压制固化工序方法进行研制,研制用模具结构为两半模结构,通过四根直径 30 mm 的导柱进行定位,可一次成型 10 根 1 m 长管件,管件模具见图 2。

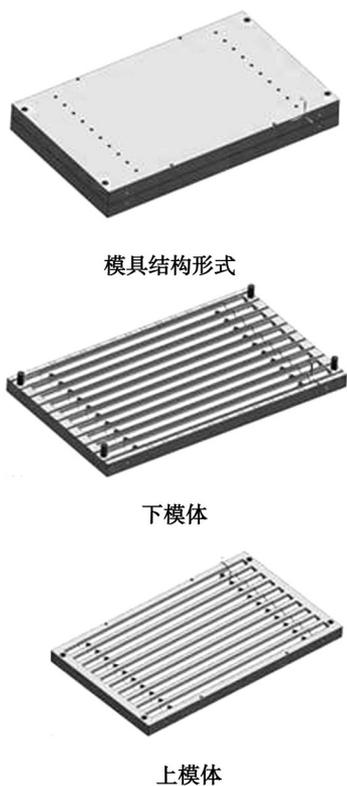


图 2 管件模具

Fig. 2 Mould of T700/3234 pipes

### 1.3 管件预浸料铺层

在硅橡胶棒上,按表 1 进行管件 T700/3234 预浸宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2014 年 第 2 期

料裁剪、铺贴,设定硅橡胶棒的长度方向为 T700/3234 预浸料 0° 方向,每铺贴 2~3 层 T700/3234 预浸料室温进行抽真空预压实,预压实工艺组合从内到外依次为硅橡胶棒、预浸料毛坯、隔离膜、透气毡、真空袋,完成所有预浸料铺贴抽真空预压实后,将铺贴预浸料的硅橡胶棒组合到模具上。

表 1 T700/3234 预浸料铺层

Tab. 1 Layer of T700/3234 prepreg

铺贴顺序	铺贴直径/mm	铺贴周长/mm	铺贴角度/(°)
1	44	138	0°
2	44	138	0°
3	44.25	139	90°
4	44.50	140	0°
5	44.75	141	0°
6	45	141	45°
7	45.25	142	0°
8	45.50	143	0°
9	45.75	144	45°
10	46	145	0°
11	46.25	145	0°
12	46.50	146	90°
13	46.75	147	0°
14	47	148	0°
15	47.25	148	-45°
16	47.50	149	0°
17	47.75	150	0°
18	48	151	45°
19	48.25	152	0°
20	48.50	152	0°
21	48.75	153	90°
22	49	154	0°
23	49.25	155	0°
24	49.25	155	0°

### 1.4 管件固化工艺

在压机上,通过压机上下板加热模具上下模体,加热固化硅橡胶棒上的预浸料毛坯,预浸料毛坯通过硅橡胶棒温度升高受热膨胀及上下模体共同加压。固化工艺为以不大于 4℃/min 升温,当模具温度升至 80℃ 时,加压至上下模板完全闭合,保温 30 min 后,放气 2~3 次,当模具温度升至 125℃ 后,保温 (120±10) min,带压冷却至模具温度 60℃ 以下,出压机。

### 1.5 管件试样制备

通过压机压制的 T700/3234 管材从模具中脱出,

抽出硅橡胶棒后,拉伸试验加工成长度 300 mm 的试样,压缩试验分别加工成长度 300 和 30 mm 的试样,弯曲试验加工成长度 240 mm 的试样,并对管件试样内表面进行加工,使 LC9 接头与管材试样的胶接间隙为 0.15 ~ 0.25 mm。试样内部质量进行超声无损检测,将 LC9 接头进行阳极化处理,用 SY-37 胶黏剂将 LC9 接头胶接到管件试样上,胶接的同时,将记忆合金环加热紧固到管件试样与 LC9 接头的胶接区域的端面外侧;SY-37 胶黏剂固化后,在试验机上进行管件力学性能测试。试验试样类型和数量见表 2,胶接好 LC9 接头管件试样见图 3。

表 2 试样类型

Tab.2 The types of sample

试样类型	胶接段长度 L/mm	有无记忆合金环	数量
拉伸	60	有	5
	60	无	5
	80	无	5
弯曲	60	有	5
	60	无	5
	60	有	5
压缩	60	无	5
	30 mm 单独管件	-	6



图 3 管件试样照片

Fig.3 Photo of T700/3234 pipes

## 1.6 性能测试

拉伸试验采用单轴加载通过销钉连接在 INSTRON 5887 30T 试验机上进行,加载速率为 2 mm/min。

弯曲试验采用三点弯曲加载方式,在 INSTRON 5882 10T 试验机上进行,试验用跨距为 460 mm,加载速率为 5 mm/min。

压缩试验在 INSTRON 50T 试验机上进行,加载速率为 1 mm/min。在试验件中部沿径向均匀粘贴 4 个应变片,测试弹性模量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 管件拉伸性能

管件拉伸试验结果见表 3,试验中典型的失效模式主要有两种,一种为胶接处拉脱,另一种为金属件销孔处拉断,典型试验照片见图 4。

从试验结果可以看出,60 mm 胶接长度 LC9 接头试样加记忆合金环可承受最大拉伸载荷 114.0 kN,其 LC9 接头试样不加记忆合金环可承受最大拉伸载荷 103.5 kN,加记忆合金环有助于提高管件的抗拉性能,有记忆合金环试样可承受的最大拉伸载荷较无记忆合金环试样提高 10.1%。80 mm 胶接长度 LC9 接头试样可承受最大拉伸载荷 128.787 kN,且最终破坏均为金属件销孔处拉断,胶接处未拉脱。试样 LC9 接头胶接长度对于拉伸试验结果影响较大。

表 3 T700/3234 管件拉伸性能

Tab.3 Tensile properties of T700/3234 pipes

拉伸试样类别	最大载荷			破坏形式
	平均值/kN	标准差/kN	离散系数/%	
胶接段长度 60 mm,有记忆合金	114.049	12.0	10.51	胶接处拉脱
胶接段长度 60 mm,无记忆合金	103.541	6.39	6.17	胶接处拉脱
胶接段长度 80 mm,无记忆合金	128.787			金属件销孔处拉断



(a) 胶接处拉脱

(b) 金属件销孔处拉断

(c) 拉伸试验设备

图4 拉伸试验照片

Fig.4 Photo of Tensile tested

## 2.2 管件压缩性能

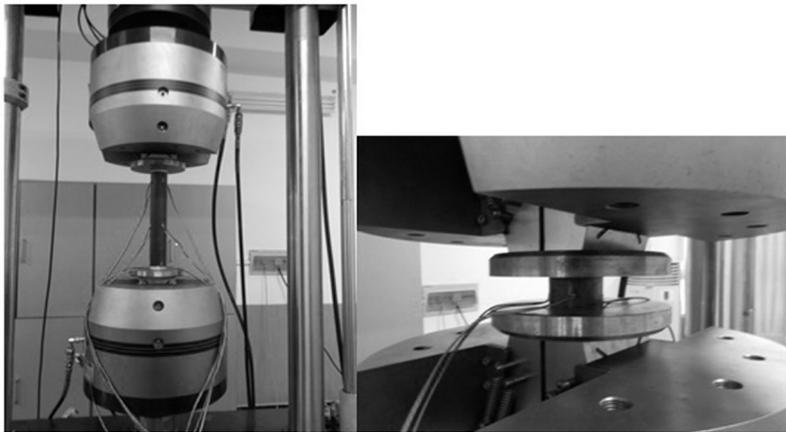
式主要是管件的端面破坏,典型试验照片见图5。

管件压缩试验结果见表4,试验中典型的失效模

表4 T700/3234 管件压缩性能

Tab.4 Compressive properties of T700/3234 pipes

压缩试样类型	最大载荷/kN	压缩强度/MPa	压缩模量/GPa	破坏形式
30 mm 单独管件	192.5	435	89.2	端面破坏
胶接段长度 60 mm, 无记忆合金	184	418	89.5	金属端面与管件胶结处破坏
胶接段长度 60 mm, 有记忆合金	213	90.1	金属端面与管件胶结处破坏	



(a) 压缩试验设备



(b) 30 mm单独管件

(c) 无记忆合金环管件

(d) 有记忆合金环管件

图5 压缩试验照片

Fig.5 Photo of Compressive test

从试验结果可以看出,单独管件与不加记忆合金的 LC9 接头胶接的管件对于压缩试验结果影响不大;加记忆合金环有助于提高管件的抗压缩性能,有记忆合金环试样可承受的最大压缩载荷较无记忆合金环试样提高 13.6%,有记忆合金环试样压缩强度较无记忆合金环试样提高 13.3%,有记忆合金环试样压缩模量较无记忆合金环试样无变化。

### 2.3 管件弯曲性能

管件弯曲试验结果见表 5,试验中典型的失效模式是管件与铝端头胶接处破坏,典型试验照片见图 6。

从试验结果可以看出,有记忆合金环试样可承受的最大弯曲载荷可达 20.433 kN,有记忆合金环试样可承受的最大弯曲载荷较无记忆合金环试样提高 5.5%。

表 5 T700/3234 管件弯曲性能  
Tab.5 Flexural properties of T700/3234 pipes

弯曲试样类别	最大载荷			破坏形式
	平均值/kN	标准差/kN	离散系数/%	
胶接段长度,60 mm,有记忆合金	20.433	2.35	8.48	胶接处破坏
胶接段长度,60 mm,无记忆合金	19.302	1.64	6.17	胶接处破坏



图 6 弯曲试验照片  
Fig.6 Photo of flexural test

### 3 结论

选用 T700/3234 中温固化环氧碳纤维单向预浸料采用压机压制成型工艺方法制造的 T700/3234 管件胶接长度对于拉伸试验结果影响较大,60 mm 胶接长度试样,安装记忆合金环有助于提高管件的抗拉伸性能,有记忆合金环试样可承受的最大拉伸载荷较无记忆合金环试样提高 10.1%。

压缩性能试验单独管件与不加记忆合金的金属胶接后的管件对于压缩试验结果影响不大,加记忆合金环有助于提高管件的抗压缩性能,有记忆合金环试样可承受的最大压缩载荷、压缩强度较无记忆合金环试样提高 10.0% 以上,有记忆合金环试样压缩模量较无记忆合金环试样无变化。

有记忆合金环试样可承受的最大弯曲载荷可达 20.433 kN,较无记忆合金环试样提高 5.5%。

#### 参考文献

[1] 赵渠森. 先进复合材料手册[M]. 北京:机械工业出版社,2003  
 [2] 黄业青,张糠助,王晓洁. T700 碳纤维复合材料耐湿热老化研究[J]. 高科技纤维及应用,2006(6):19-21  
 [3] 袁正华,尤国荣. 中国航空材料手册(第2版)第6卷 复合材料[M]. 北京:中国标准出版社. 2002:29-33  
 [4] 刘梦媛 刘东勋. T700/3234 层合板力学性能的研究[J]. 纤维复合材料,2013(2):16-18

(编辑 任涛)