

记忆合金箍环增强复合材料管件接头力学性能分析

陈中强 顾铨璋 顾远之

(上海宇航系统工程研究所,上海 201506)

文 摘 复合材料管件在使用时需与接头粘接,粘接的强度常常决定了整个管件的承载能力。本文首先用有限元方法分析了记忆合金箍环对复合材料圆管接头承拉能力的影响,再通过两组轴拉静力试验测试了记忆合金箍环对复合材料圆管拉伸强度的影响程度。试验结果表明记忆合金箍环能提高复合材料圆管接头拉伸强度 10.1%,能较好地提高连接性能,这与有限元分析结果相符,分析及试验结果对复合材料管件设计改进有指导作用。

关键词 复合材料圆管,力学性能,记忆合金,有限元

中图分类号:V475.1

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2016.02.019

Mechanical Properties Analysis of Composite Pipes With Memory Alloy Ring

CHEN Zhongqiang GU Chengzhang GU Yuanzhi

(Aerospace System Engineering, Shanghai 201506)

Abstract Composite pipes are always used together with joints and the bonding strength between them is a determining factor for the pipes properties. The tensile strength of the composite pipes affected by memory alloy ring have been analyzed with finite element analysis. And then tensile test were conducted for comparison. The experimental results indicate that the tensile strength of composite pipes could be enhanced by 10.1% which meet the finite element analysis results. The present results provide a reference for the designing and optimization of composite pipes.

Key words Composite pipes, Mechanical properties, Memory alloy ring, Finite element analysis

0 引言

复合材料管件可以作为桁架结构的部分,已经广泛应用于现代航天器轻型结构之中,能够满足轻质、高稳定性、易于安装和拆卸等要求^[1-4]。复合材料管件的连接强度受制于连接接头处的设计,如何提高胶接接头的性能,最大限度的发挥复合材料高比强度和比模量特点成为工程实践中需要解决的重要问题。

鞠苏等^[4]分析了摩擦因数对复合材料管件接头强度的影响;赵伶丰等^[5]对复合材料胶接接头的内部应力进行了有限元分析;林松等^[6]测试了大载荷缠绕杆件的力学性能;杜刚等^[7]研究了复合材料圆管端部加强后的轴压性能。但目前利用记忆合金环提高复合材料管件力学性能的研究尚不多见。记忆

合金环具有单向收缩的功能,在达到一定的温度时,记忆合金材料收缩,可以为复合材料管件接头处提供预应力,且这种收缩是单向的,在温度下降后记忆合金环仍然保持收缩后的形状,具有较高的使用价值。

本文以 T700 碳纤维管件连接金属接头为例,分析了使用记忆合金箍环的方法对复合材料圆管接头力学性能的影响,通过轴拉试验验证了记忆合金箍环对复合材料圆管承拉强度性能提高程度,取得了有效提高复合材料管件抗拉性能的效果。分析及试验结果对复合材料管件设计改进有指导作用。

1 有限元分析

1.1 材料及建模

管件材料为 T700/3234 复合材料,其性能如表 1

收稿日期:2015-04-03

作者简介:陈中强,1987 年出生,工程师,研究方向为复合材料结构。E-mail:luzhong0608@163.com

所示,管件外径 $\Phi 50$ mm,管壁厚度 3 mm,碳纤维共
计铺制预浸料 24 层,单层厚度 0.125 mm,铺层方向

以沿管件轴向为主,适当设置环向及斜向层。接头材
料为 7A09 铝合金。

表 1 材料性能

Tab.1 Material properties

E_{11}/GPa	E_{21}/GPa	ν_1	E_{1c}/GPa	E_{2c}/GPa	G_{12}/GPa	X_1/MPa	Y_1/MPa	X_c/MPa	Y_c/MPa	τ_{12}/MPa	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
128	8.4	0.32	110	9.0	4.0	2093	50	870	198	104	1.8

碳纤维管件与金属接头之间采用 SY-37 胶液粘
接,粘接段长度为 60 mm,记忆合金环采用
Ni44Ti47Nb9 记忆合金,宽度 4 mm,厚度 2 mm,理论
收缩量为 5%,剖面如图 1 所示。

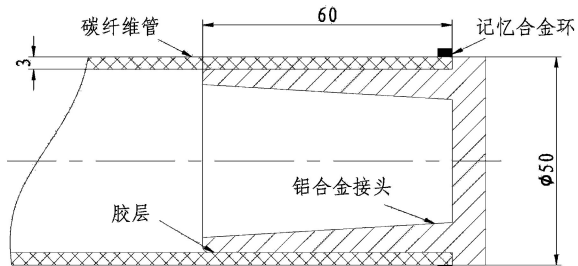


图 1 试样剖面示意图

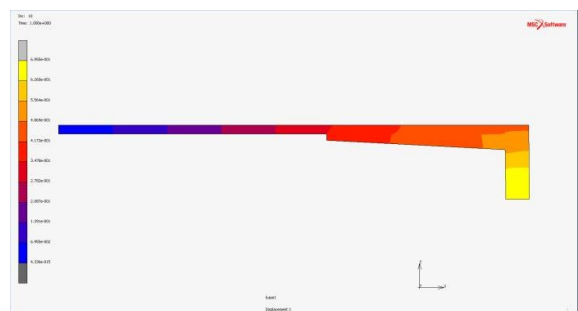
Fig.1 Experimental sample section

采用 MSC. Marc 软件对此模型进行分析,将模型
等效为轴对称问题进行分析,其中碳纤维管使用
152#单元,接头与胶采用 10#单元。分析中将胶层简
化为弹塑性模型,其屈服应力通过纯剪切试验获得为
30 MPa,整个模型单元数规模约为 1 万。本文研究接
头在承受 150 kN 轴向载荷下的粘接强度,根据理论
分析,拉伸载荷对结构的粘接强度考核较为严酷,将
载荷换算成均布轴拉载荷施加在右侧铝合金接头右
侧端面上,在碳纤维管左端施加轴向位移约束。记忆
合金环通过施加过盈接触来模拟其初始时刻对结构
的紧箍作用。

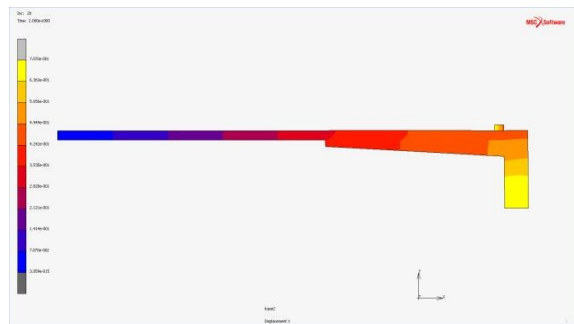
1.2 计算及分析

拉伸载荷下有无记忆合金环模型的整体 von-
Mises 应力与位移如图 2、图 3 所示,从计算结果来
看,拉伸载荷下记忆合金环对模型整体的位移与应力
分布影响较小。

提取两种模型下沿胶层长度方向的剥离与剪切应
力进行比较(图 4),发现记忆合金环对胶层的剪切应
力影响不大,但使得胶层端部的剥离应力降低了 40%。



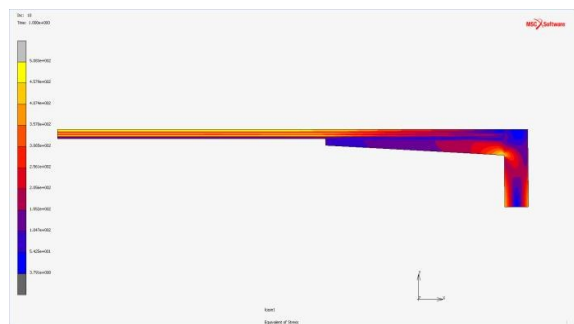
(a) 无记忆合金环



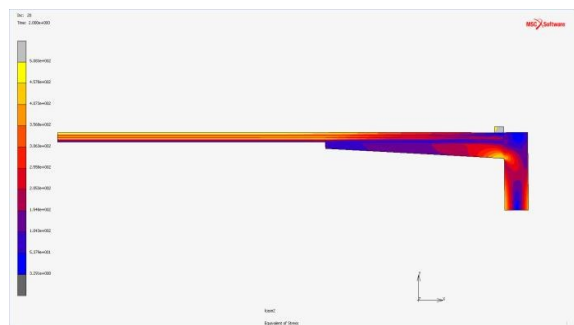
(b) 含记忆合金环

图 2 整体变形分布

Fig.2 Holistic distortion



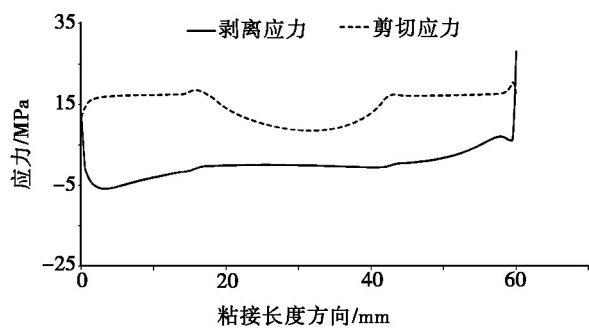
(a) 无记忆合金环



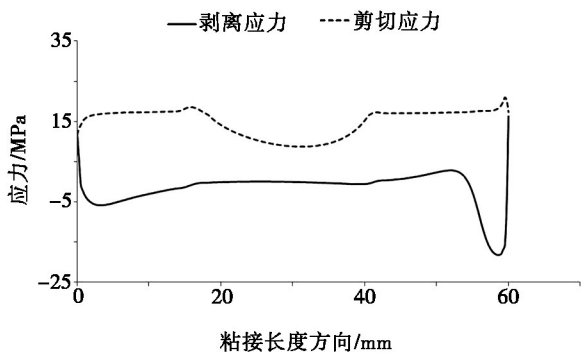
(b) 含记忆合金环

图 3 整体应力分布

Fig.3 Stress distribution



(a) 无记忆合金环



(b) 含记忆合金环

图4 模型胶层应力

Fig. 4 Adhesive stress

2 试验结果及分析

按照上节所述参数制备 2 组对比试样,分别为:无记忆合金环管件拉伸试件、带记忆合金环管件拉伸试件,每组试样 5 件,试样端头处如图 5 所示。

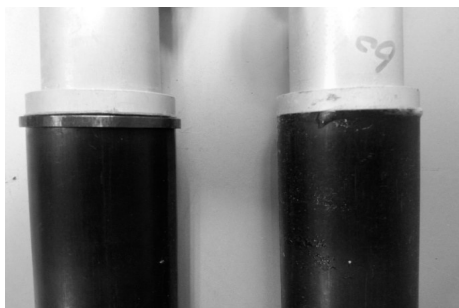


图5 管件试样端头处

Fig. 5 Joint of pipe samples

参照 GB/T 5349—2005 对试件进行了轴向拉伸试验,并且按照标准计算试样的强度,具体如图 6 所示,管件在调试后逐级加载至破坏。



图6 试验加载示意图

Fig. 6 Loading experiment device

试验过程中,试验载荷位移曲线显示良好的线性,破坏时载荷突变,无明显屈服过程,管件试验结果见表 2。

表 2 试验结果对照

Tab. 2 Test results by comparison

试样类别	破坏载荷均值/kN	强度均值/MPa	相比提高/%
无记忆合金环	103.54	240.70	10.1
有记忆合金环	114.05	256.46	

试验中典型的破坏模式为,端头界面处拉脱,碳纤维拉伸试验典型破坏模式如图 7 所示。

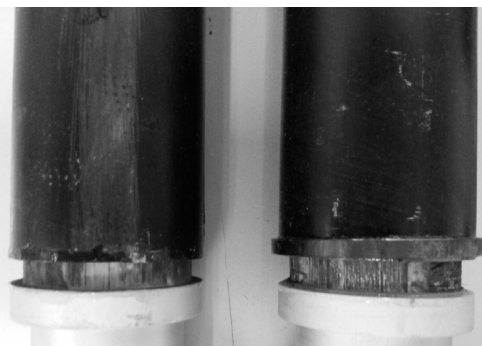


图7 拉伸试验试样典型破坏形式

Fig. 7 Typical failure modes

3 结论

通过 T700/3234 碳纤维复合材料管件试样轴拉试验验证了有限元计算的有效性。从试验结果可以看出,复合材料管件接头试样加记忆合金环可承受最大拉伸载荷为 114.05 kN,加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%。

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] SMITH J J. Evolved composite structures for Atlas V [J]. AIAA — 2002—4201,2002.
- [3] YANG C. Design and analysis of composite pipe joints under tensile loading[J]. 2000(04):332-349.
- [4] 鞠苏,肖加余,江大志,等. 复合材料管接头与钢管间摩擦力及其对管接头强度的影响—数值分析[J]. 复合材料学报,2007,24(3):168-172.
- [5] 赵伶丰,白光明. 复合材料胶接接头分析研究[J]. 航天器环境工程,2007(12):24-6.
- [6] 林松,王俊锋,张建宝,等. 大载荷缠绕杆件的拉伸和压缩性能[J]. 宇航材料工艺,2012,42(3):86-96.
- [7] 杜刚,曾竟成,肖加余,等. 复合材料圆管端部加强对其轴压性能影响的实验分析 [J]. 材料科学与工程学报,2007,25(3):457-459.