

镁合金在卫星铝蜂窝夹层结构板中的应用

赵 鑫

(上海复合材料科技有限公司,上海 201206)

文 摘 为满足卫星轻量化的要求,选用轻质合金替代卫星铝蜂窝夹层结构板中的铝合金埋件。对比铝-铝、碳/环氧-镁和铝-镁的剪切试验和拉脱试验的试验结果,结合卫星铝蜂窝夹层结构板的结构特点,分析镁合金埋件替代铝合金埋件的可行性。

关键词 镁合金,铝蜂窝夹层结构板,剪切试验,拉脱试验,卫星

Applications of Magnesium Alloys at Aluminium Honeycomb Sandwich Structure Panel

Zhao Xin

(Shanghai Composites Science and Technique Co., Ltd., Shanghai 201206)

Abstract Light-weight alloys is considered to substitute aluminium alloys parts at aluminium honeycomb sandwich structure panel for lighting satellite weight. The result of shear strength test and extension force test of aluminium-magnesium and Carbon/epoxy-magnesium were compared with aluminium-aluminium by experiment. Thinking of typically structure feature for honeycomb sandwich structure panel, the feasibility of magnesium alloys parts substitute for aluminium alloys parts was analyzed chiefly.

Key words Magnesium alloys, Aluminium honeycomb sandwich structure panel, Adhesive membrane shear test, Extension force test, Satellite

1 前言

铝蜂窝夹层结构板具有较高的比强度、比刚度、较好的抗疲劳性能、良好的阻尼减震性能以及结构的可设计性等优点,为卫星结构舱体大量使用^[1-3]。

卫星结构舱体是通过铝蜂窝夹层结构板(简称蜂窝板)中埋入的不同类型的镶嵌件(埋件)将蜂窝板连接成需要的结构,埋件通常选用较轻的铝合金。目前,我国卫星的结构质量通常要占卫星总质量的12%~15%,卫星质量降低1 kg,相应的运载火箭质量则可降低200~300 kg。因此,设计卫星结构时,一般会尽量减少卫星本身质量^[4]。原则上,卫星结构应在满足系统功能要求的前提下,尽量选用质量轻、易加工和成本低材料^[5-6]。

因此,在满足设计要求的前提下,减轻埋件的结构质量是实现卫星轻量化的重要手段。镁合金的密度小,约是铝合金的2/3,并具有良好的比强度、比模量、可再循环和良好的铸造性能等一些非常明显的优

势,具有替代传统材料的广阔前景^[7-12]。

本文拟采用铝合金、镁合金、碳纤维和环氧树脂胶黏剂为试验原料,分析在卫星结构中镁合金埋件代替铝合金埋件的可行性。

2 试验

2.1 思路

按照如下思路对比铝合金与镁合金在蜂窝板中的胶接性能:(1)用胶接工装制作J-78B胶膜的铝-铝、碳/环氧-镁和铝-镁搭接剪切试件(标准试件:60 mm×20 mm×2 mm,各10组);(2)进行胶接剪切强度试验;(3)用胶接工装制作铝蒙皮-铝合金埋件拉脱试件、碳蒙皮-镁合金埋件拉脱试件和铝蒙皮-镁合金埋件拉脱试件(100 mm×100 mm×18 mm,各5件);(4)进行拉脱试验;(5)分析镁合金与环氧树脂胶黏剂的胶接情况,并与铝合金进行对比。

2.2 原材料及设备

所选用原材料的性能及设备见表1~表3。

收稿日期:2008-04-16

作者简介:赵鑫,1982年出生,硕士研究生,主要从事复合材料的研究工作

表 1 环氧树脂胶黏剂的物理性能
Tab 1 Properties of epoxy resin adhesive

环氧树脂胶黏剂	外观	厚度 /mm	剪切强度 /MPa	80 剪切强度 /MPa	90 板芯剥离强度 /MPa	密度 /g·cm ⁻³
	指标 /实测	指标 /实测	指标 /实测	指标 /实测	指标 /实测	指标 /实测
J - 78B 胶膜	乳白色 /乳白色	0.13 ~ 0.17 / 0.15	23.0 / 29.5	13.0 / 18.3	20.0 / 24.9	- / -
J - 78D 发泡胶	灰色 /灰色	0.15 ~ 0.20 / 0.20	- / -	- / -	- / -	00.6 ± 0.1 / 0.6

表 2 镁合金与铝合金的性能比较
Tab 2 Properties comparison of magnesium alloys with aluminum alloys

材料	牌号	密度 /g·cm ⁻³	拉伸强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率 /%
镁合金	ZK61M	1.8	333.5	331.0	19.06
铝合金	2A12T4	2.7	582.5	462.5	13.30

表 3 试验设备
Tab 3 Equipment of test

名称	产地	设备型号
热压罐	广东湛江机械厂	DF - 1 × 2
万能电子试验机	深圳市新三思材料检测有限公司	CMT5150

2.3 试件制备

为了提高试件的胶接性能,需对铝合金和镁合金进行表面处理,在其表面形成一层均匀、与基体结合良好、微观粗糙的多孔膜层。铝合金表面按《铝合金胶接前磷酸阳极氧化膜层工艺规范》(QJ2908—97)进行磷酸阳极化表面处理,镁合金表面按照《镁合金化学氧化膜层生产说明书》(QJ/Z134—85)进行化学氧化膜层处理。然后经过装配、抽真空、固化等工艺,制备成剪切试验所需的标准试件和拉脱试验所需的标准试件。

3 结果及讨论

3.1 胶膜剪切强度试验

胶膜剪切强度试验是检测金属试件和胶膜的胶接性能。示意图见图 1,试验结果见表 4。

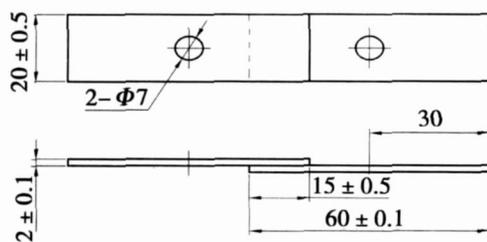


图 1 剪切试件示意图

Fig 1 Sketch of shear specimen

表 4 胶膜剪切强度试验结果

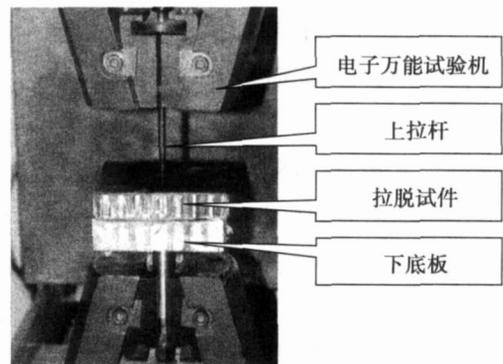
Tab 4 Results of shear test

金属试件	要求值	胶膜剪切强度	
	/MPa	平均值 /MPa	离散系数
铝 - 铝		29.9	0.18
碳 /环氧 - 镁	23	24.3	0.05
铝 - 镁		24.5	0.09

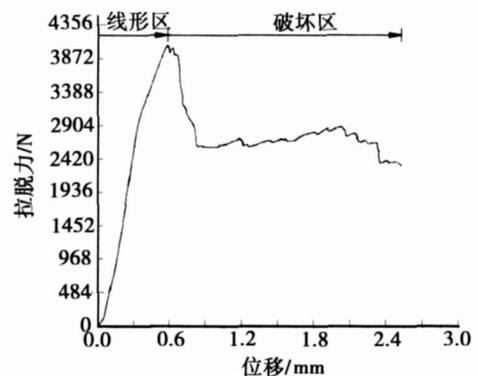
3.2 拉脱试验

卫星铝蜂窝夹层结构板中的埋件不但要承受载荷,而且机上仪器及管路电缆也要通过埋件安装固定在蜂窝板上。埋件与蜂窝夹芯之间是用胶黏剂胶接。因此,拉脱试验是检测埋件抗拔出能力的重要指标。

本试验万能电子试验机的加载速度为 (5 ± 1) mm/min,试验过程中,对试件进行加载直至试件破坏,并记录拉脱力—位移曲线。示意图见图 2,试验结果见表 5。



(a) 加载装置图



(b) 拉脱力—位移关系曲线

图 2 拉脱试验加载说明

Fig 2 Loading equipment for extension force test

表 5 拉脱试验结果

Tab 5 Results of extension force test

金属试件	胶膜拉脱力	
	平均值 /N	离散系数
铝 - 铝	4423.4	0.08
碳 /环氧 - 镁	4005.8	0.05
铝 - 镁	3729.3	0.11

图 2 中 (b) 中, 线性区是在加载的初始阶段 (埋件受上拉杆的拉力直至埋件脱粘的临界状态), 反映到曲线上是一段直线; 当埋件脱粘的一刻, 曲线出现拐点, 出现峰值, 随后曲线下降, 出现波动, 这段曲线即为试件发生破坏的阶段, 这一阶段主要是对蒙皮的破坏。

3.3 结果分析

结合胶膜剪切试验和拉脱试验的结果分析: 试件经过表面处理, 胶接表面形成了新的表面层, 改变了表面的物理化学状态, 相对粗糙的表面形态有利于粘接时胶液渗入凹孔中, 固化后生成无数的小胶钩子, 起嵌合作用或形成机械互锁。而镁合金试件与铝合金试件比, 其胶接耐久性较低。胶接性能排序为铝 - 铝 > 碳 /环氧 - 镁 > 铝 - 镁。

4 结论

通过铝 - 铝、碳 /环氧 - 镁和铝 - 镁的剪切试验和拉脱试验的结果分析, 碳 /环氧 - 镁、铝 - 镁与常用胶的胶接强度与铝 - 铝相比, 虽已达到设计的要求, 但还是有一定的差距。因此, 需寻求一种适用于工业化生产的表面改性处理方法, 提高碳 /环氧 - 镁和铝 - 镁的胶接强度。解决这个问题, 可大大地提高卫星

结构效率, 增加卫星的有效载荷。

参考文献

- 1] 陈文. KOREX 芳族聚酰胺蜂窝夹芯. 航天返回与遥感, 1994; 15 (4): 69 ~ 70
- 2 韦娟芳, 冀有志, 龚博安. 星载蜂窝夹层结构天线复合材料力学性能检测. 宇航材料工艺, 2007; 37 (5): 8 ~ 12
- 3 章令晖, 韩宇, 沃西源等. 蜂窝夹层结构常见制造缺陷分析. 航天返回与遥感, 2006; 27 (1): 57 ~ 61
- 4 王永刚, 刘玉文. 军事卫星及应用概论. 北京: 国防工业出版社, 2003: 5 ~ 6
- 5 Renji K. Loss factors of composite honeycomb sandwich panels. Journal of Sound and Vibration, 2002; 250: 745 ~ 761
- 6 Hansen W. Carbon-carbon honeycomb panels for aerospace applications. International SAMPE Symposium and Exhibition (Proceedings), 2001; 46 II 1 552 ~ 1 556
- 7 蒋太富, 刘静安. 镁及镁合金材料的应用及市场开拓前景. 铝加工, 2007; (2): 5 ~ 10
- 8 张学惠, 刘静安. 镁及镁合金材料加工技术的现代化进展. 铝加工, 2007; (4): 4 ~ 8
- 9 曾爱平, 薛颖, 钱宇峰等. 镁合金表面改性新技术. 材料导报, 2000; 14 (3): 19 ~ 20
- 10 Hoche H. Development of a plasma surface treatment for magnesium alloys to ensure sufficient wear and corrosion resistance. Surface and Coatings Technology, 2003; 173: 1 018 ~ 1 023
- 11 Fracassi F. Application of plasma deposited organosilicon thin films for the corrosion protection of metals. Surface and Coatings Technology, 2003; 175: 107 ~ 111
- 12 姚军, 孙广平, 贾树盛. 镁合金表面处理的研究进展. 焊接技术, 2004; 33 (6): 4 ~ 6

(编辑 任涛)