

在轨温度环境对 J-47C 胶黏剂粘接性能的影响

张静静¹ 高 鸿¹ 刘泊天¹ 邢 焰¹ 李博弘²

(1 中国空间技术研究院,宇航物资保障事业部,北京 100094)

(2 黑龙江省科学院石油化学研究院,哈尔滨 150040)

文 摘 为考察在轨温度环境对 J-47C 结构胶黏剂粘接性能的影响,利用动态热机械分析和热重分析方法,对其 T_g 、热分解温度进行了测试,掌握了胶黏剂的耐热指标。通过不同温度下力学性能测试,温度冲击及真空热循环试验研究了卫星特殊的温度环境对胶黏剂性能的影响。结果表明,J-47C 胶黏剂在高温以及真空热循环和温度冲击后其仍具有较高的力学强度保持率,满足卫星的温度环境对胶黏剂性能的需求。

关键词 胶黏剂,空间环境,温度冲击,真空热循环,粘接性能

中图分类号:V45

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.01.009

Effects of Thermal Environment in Orbit on Adhesive Properties of J-47C Adhesive

ZHANG Jingjing¹ GAO Hong¹ LIU Botian¹ XING Yan¹ LI Bohong²

(1 China Aerospace Components Engineering Center, China Academy of Space Technology, Beijing 100094)

(2 Institute of Petrochemistry Heilongjiang Academy of Science, Harbin 150040)

Abstract To investigate the influence of thermal environment in orbit on the adhesive properties of J-47C structural adhesive, T_g and weight-loss temperatures of J-47C were acquired by DMA and TGA. Tensile lap-shear strength of the adhesive at different temperatures, before and after thermal shock, and after vacuum thermal cycle environment test was measured. The results show that the tensile-strength was of slightly changes after these environment tests. The J-47C structural adhesive can achieve the requirements of the special temperature environments announced by the usage of spacecrafts.

Key words Adhesive, Space environment, Thermal shock, Vacuum thermal cycle, Adhesive properties

0 引言

复合材料蜂窝夹层结构因其具有比刚度高、抗震、成型工艺性好等优异特性,在航天、航空、高速交通运输等领域中得到了广泛应用^[1-2]。在航天领域中,国内外主要将蜂窝夹层结构用于航天器承力的本体结构、星载卫星天线等方面。蜂窝夹层结构由面板、蜂窝、结构胶黏剂组成,其中结构胶黏剂性能的好坏直接决定蜂窝夹层结构的优劣^[3]。随着我国深空探测任务的开展以及航天器功能的不断发展,给航天器结构产品用胶黏剂的服役温度环境提出了更高要求。本文针对卫星特殊的温度环境,开展了 J-47C 胶耐热特性分析,并对不同温度下、温度冲击和真空热循环前后的胶黏剂粘接性能进行了测试,研究了在轨温度环境对胶黏剂粘接性能影响程度。

1 实验

1.1 试剂与仪器

2A12 铝合金,西南铝业(集团)有限责任公司;J

-47B、J-78C,黑龙江石油化学研究院。

VECTOR 22 傅里叶变换红外光谱仪,德国 BRUKER 公司;TG/DTA6300 热失重分析仪,美国 PE 公司;EXSTAR 6100 动态热机械分析仪,日本精工;INSTRON 4467 万能试验机,美国;FEI SIRION 扫描电镜,荷兰飞利浦;常压温度冲击设备和 BZ12 空间环境模拟器,北京卫星环境工程研究所。

1.2 试验方法与过程

1.2.1 试验方法

GB/T7124—2008 胶黏剂拉伸剪切强度测定方法。

1.2.2 胶黏剂测试样件的制备

固化后的 J-47C 胶膜用于 DMA 和 TGA 测试。将底胶 J-47B、胶膜 J-47C 依次涂覆和粘贴于经过磷酸阳极化处理的铝合金上,加热固化制备拉剪试样。

1.2.3 不同温度下胶黏剂拉剪强度测试

测试胶黏剂在 6 个温度点的拉剪强度。

1.2.4 胶黏剂温度冲击试验

收稿日期:2014-12-15

作者简介:张静静,1982 年出生,博士,主要从事航天器用材料应用性能评价技术和可靠性评价技术研究。E-mail:naokojj@126.com

通信作者:邢焰,1969 年出生,博士,高级工程师,主要从事航天器用材料质量管理工作。E-mail:xingyan@sina.com

将拉伸剪切试样置于常压温度冲击设备中,进行-196、150℃的温度冲击试验。试验过程中用测温电阻监测样品温度,当达到预定温度后,将样品由低温试验箱转移到高温试验箱(或由高温试验箱转移到低温试验箱),转移时间小于10 s。对经过0、100、500、700次温度冲击处理后的样件进行宏观检查、拉剪强度测试及试样断面微观形貌分析。

1.2.5 胶黏剂真空热循环试验

将5个拉剪试样置于BZ12空间环境模拟器中进行真空热循环试验,试验压力为 $(22 \sim 2.5) \times 10^{-5}$ Pa,高温端温度为100℃,容差为0~4℃,低温端为-100℃,容差为0~4℃,循环次数为10次,每一个循环包含一个冷态和一个热态。在1#样品上粘贴热电偶用于温度控制,在2#~5#样品上粘贴热电偶用于温度监测。热真空试验后对样品进行拉剪强度测试。

2 结果与讨论

2.1 胶黏剂耐热性

图1为J-47C胶固化后的DMA曲线。

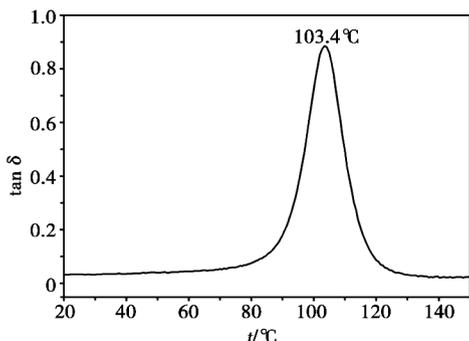


图1 J-47C结构胶黏剂DMA曲线

Fig. 1 DMA curve of J-47C structural adhesive

可见其 T_g 为103℃,说明胶黏剂在100℃以下使用时,其力学强度保持率高。图2为胶黏剂固化后的TGA曲线,可见其 T_d^5 为267℃,表明J-47C胶黏剂具有良好的热稳定性。

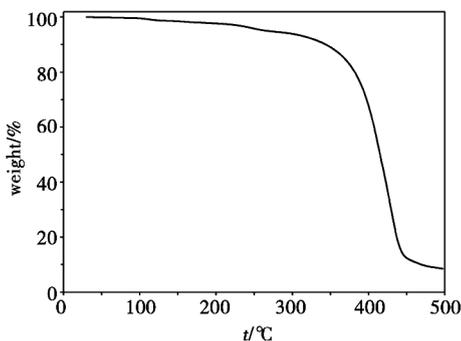


图2 J-47C结构胶黏剂TGA曲线

Fig. 2 TGA curve of J-47C structural adhesive

图3为胶黏剂固化后DTG曲线,可以看出J-47C胶黏剂有三个明显热失重平台,第一个热失重平台峰值分解温度为247℃,对应体系内热稳定性较差的烷基链的分解,第二、三个热失重平台峰值分解温

度分别为415和427℃,对应胶黏剂主链结构的分解。

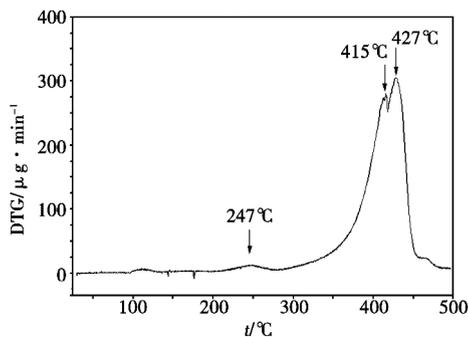


图3 J-47C结构胶黏剂DTG曲线

Fig. 3 DTG curve of J-47C structural adhesive

2.2 在轨温度环境对胶黏剂性能影响

2.2.1 高低温对胶黏剂性能影响

表1为6个温度下J-47C胶力学术性能数据。

表1 不同温度下J-47C胶黏剂拉剪强度

Tab. 1 Tensile lap-shear strength of J-47C adhesive under different temperature

温度/℃	拉剪强度/MPa	强度保持率/%
-120	43.45	107.2
25	40.55	-
80	22.69	56.0
120	16.47	40.6
150	4.10	10.1
200	2.32	5.7

可看出,J-47C胶黏剂拉剪强度在-120℃略有升高,而当温度向200℃升温时,拉剪强度逐渐降低,尤其是达到120℃时,拉剪强度降至16.47 MPa,相对于室温其强度保持率为40.6%,其主要原因为环境温度高于胶黏剂 T_g (103℃),胶黏剂分子链段运动被激发,内聚强度降低,材料力学性能显著下降。

2.2.2 温度冲击对胶黏剂性能影响

图4为J-47C胶黏剂冲击试验后拉剪试样胶层的实物形貌。发现当温度冲击次数增加到500次时,外部裸露胶层开始出现裂纹,且随着温度冲击次数的增加,试样外部裸露胶层部分的裂纹明显增多,且裂纹主要出现在胶层内部的气孔附近,主要原因为温度冲击过程中,胶层气孔缺陷导致胶黏剂内部存在较大的热应力,使胶黏剂出现明显的裂纹。表2给出了不同次数温度冲击试验后J-47C拉剪强度,发现无明显下降。分析其原因为铝—铝搭接部位的胶层固化过程中受约0.03 MPa的压力,因此与外部裸露胶层相比,铝—铝搭接位置的胶层会更薄,气孔等缺陷更少,在冲击试验过程中胶接部位尺寸变化较小,不易产生裂纹,力学强度保持率高。还通过扫面电镜对断面的微观形貌进行了表征(图5)。从图5看出,胶层内部无明显的气孔缺陷,且700次温度冲击前后拉伸剪切试样的断裂方式均为胶层的内聚破坏。

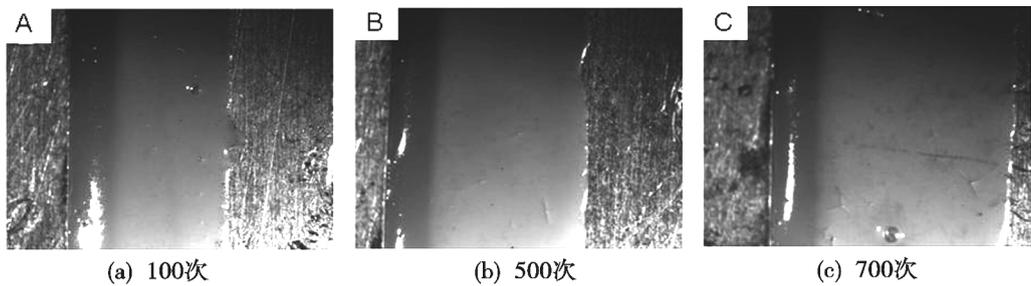


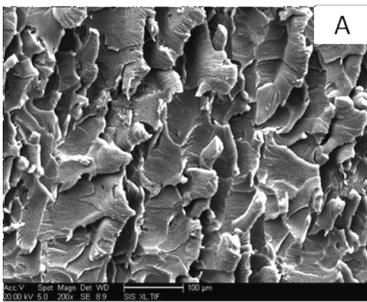
图4 温度冲击后外部胶层实物形貌

Fig. 4 Morphology of adhesive layer of J-47C after thermal shock

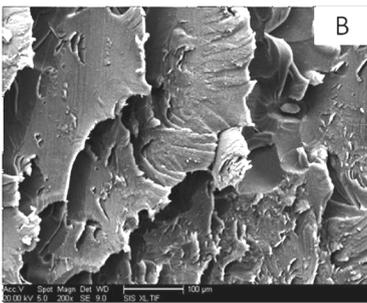
表2 不同冲击次数下 J-47C 拉伸剪切强度

Tab.2 Tensile lap-shear strength of J-47C after thermal shock

冲击次数/次	剪切强度/MPa	冲击次数/次	剪切强度/MPa
0	40.39	500	39.64
100	39.27	700	39.12



(a) 冲击实验前



(b) 700次温度冲击后

图5 温度冲击试验前后拉剪试样断面 SEM 照片

Fig. 5 SEM images of J-47C before and after thermal shock

对温度冲击前后的微观形貌进行对比,其中温度冲击前胶层断裂面粗糙,小裂纹的弯曲变形十分明显,这是由于试样发生剪切屈服所致,且裂纹从不同方向延伸,裂纹大小不均一,表现出明显的韧性断裂特征,而700次温度冲击后,有极少部分表现出脆性断裂特征,断裂表面光滑,裂口呈直线型发展^[4-5],大部分断面仍然呈韧性断裂,这与700次温度冲击前后拉伸剪切数据相吻合,温度冲击后力学性能仅有轻微下降。这主要归因于J-47C胶黏剂体系内丁腈橡胶对胶黏剂的增韧,表明胶黏剂耐温度冲击性能良好。

2.2.3 真空热循环对胶黏剂性能影响

通过对J-47C胶黏剂真空热循环试验(-100~100℃)前后样件拉剪强度测试,发现拉剪强度无明显

变化,由41.38 MPa变为40.30 MPa。对真空热循环试验后拉剪试样的断面做微观形貌分析(图6),断面出现大量弯曲裂纹,为明显的韧性断裂,表明J-47C结构胶黏剂具有优异的耐真空热循环特性。

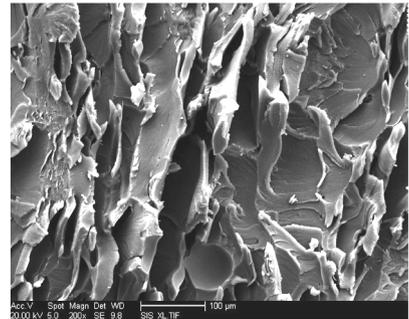


图6 真空热循环试验后拉剪试样断面 SEM 照片

Fig. 6 SEM images of J-47C after vacuum thermal cycling

3 结论

高低温对胶黏剂性能影响研究表明,室温到200℃随着温度升高胶黏剂拉剪强度呈下降趋势,尤其是环境温度高于胶黏剂 T_g (103℃)时,分子链段运动被激发,内聚强度降低,材料力学性能显著下降,实际使用时应充分考虑高低温对力学性能的影响。温度冲击和真空热循环对胶黏剂性能影响研究表明,J-47C具有优异的耐温度冲击和真空热循环性能,可以满足卫星特殊的温度环境对结构胶性能的需求。

参考文献

- [1] Hsiao H M, Lee S M, Buyny A. Core crush problem in manufacturing of composite sandwich structures; mechanisms and solutions[J]. AIAA Journal, 2006, 44(4): 901-907
- [2] 高扬, 张军营. 胶黏剂选用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012
- [3] Ryo O, Kortschot M T. The role of the resin fillet in the delamination of honeycomb sandwich structures[J]. Composites Science and Technology, 2002, 62(14): 1811-1819
- [4] Shangjin He, Keyu Shi, jie Bai, et al. Studies on the properties of epoxy resins modified with chain-extended ureas[J]. Polymer, 2001, 42(23): 9641-9647
- [5] Park SooJin, Jin FanLong, Lee JaeRock. Thermal and mechanical properties of tetrafunctional epoxy resin toughened with epoxidized soybean oil[J]. Materials Science and Engineering, 2004, 374: 109-114

(编辑 吴坚)