

模压石英/酚醛复合材料的力学和热物理性能

李云宽 丁仁兴 于森

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 采用力学、热物理等测试方法,研究模压成型石英/酚醛复合材料制品性能,并与模压成型高硅氧/酚醛复合材料制品进行了对比分析。结果表明,模压石英/酚醛复合材料具有较好的力学性能,而且其线胀系数是模压高硅氧/酚醛复合材料的一半,在中低焓值、较低热流、较长烧蚀时间条件下具有很小的热变形。

关键词 石英纤维,酚醛,模压

Thermal and Mechanical Properties of Moulded Quartz Phenolic Composites

Li Yunkuan Ding Renxing Yu Miao

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The properties of moulded quartz phenolic composites are studied by the methods of mechanical and physical tests, comparing with moulded high silica phenolic composites. The result shows that moulded quartz phenolic composite not only has good mechanical property, but also has much more lower thermal deformation in the environment of low enthalpy, low heat flux and long-time ablation as the property of half linear expansion coefficient comparing with moulded high silica phenolic composite.

Key words Quartz fiber, Phenolic, Moulded

0 引言

以树脂为基体的玻璃纤维增强复合材料具有比强度高和比模量高、可塑性好、独特的设计性等优良特性,在航空航天、军工等诸多领域应用广泛^[1]。模压制品是玻璃纤维增强酚醛树脂复合材料中的一种。酚醛树脂具有良好的力学和耐热性能,尤其具有突出的耐瞬时高温烧蚀性能。玻璃纤维作为复合材料中的广泛应用的增强材料,具有耐高温、耐腐蚀、强度高、绝热性及绝缘性好的特点。

新型航天飞行器对防隔热材料提出了中低焓值、较低热流、烧蚀时间较长(≥ 300 s)的防隔热要求,传统的瞬时防热用树脂基防热材料如高硅氧/酚醛等在长时间烧蚀环境下存在烧蚀变形问题,影响飞行器气动外形及防热层的防隔热效果。本文研究了模压成型石英/酚醛复合材料制品性能,并与模压成型高硅氧/酚醛复合材料制品性能进行了对比分析。

1 实验

1.1 材料

酚醛树脂,河北高碑店市铜山化工厂生产;短切石英纤维,湖北菲利华石英玻璃股份有限公司;短切高硅氧纤维,陕西华特玻璃纤维有限公司;溶剂,工业酒精。

1.2 试样制备

按配比制作短切石英纤维/酚醛树脂预混料,装入平板模具中模压成型。平板试验件脱模后按相应标准加工性能测试试样(密度、拉伸、线胀系数、热导率、比热容等),其中小发动机烧蚀试样尺寸为 $190\text{ mm}\times 120\text{ mm}\times 20\text{ mm}$,电弧风洞烧蚀试样尺寸为 $260\text{ mm}\times 260\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ 。

1.3 性能测试

分别测试模压成型石英/酚醛复合材料密度(GB/T1463—2005)、拉伸强度(DqES77—98)、断裂延伸率(DqES77—98)、线胀系数(GJB332A—2004)、热导率(GB/T10295—2008)、比热容(GJB330A—

2000)、线烧蚀速率(GJB323A—1996)等性能,并进行模拟实际热流环境的电弧风洞烧蚀试验(中国航天空气动力技术研究院)。

2 结果与讨论

2.1 模压石英/酚醛复合材料力学性能

模压石英/酚醛复合材料与模压高硅氧/酚醛复合材料力学性能测试结果显示(表1),由于石英纤维的强度和模量高于高硅氧纤维,模压石英/酚醛复合材料拉伸强度及拉伸模量稍大于模压高硅氧/酚醛复合材料。

表1 模压石英/酚醛材料的力学性能

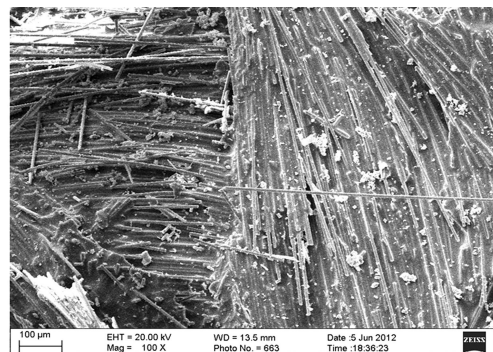
Tab.1 Mechanical properties of moulded quartz-fiber/phenolic composite

材料	密度 /g·cm ⁻³	拉伸强度 /MPa	拉伸模量 /GPa	断裂延伸率 /%
模压石英/酚醛	1.65	42.1	16.3	0.72
模压高硅氧/酚醛	1.62	31.7	11.4	1.05

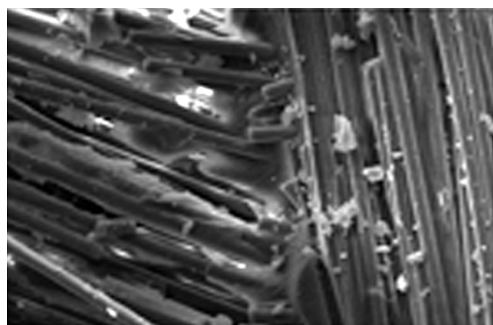
复合材料的特性主要取决于纤维特性、基体特性、界面状况、纤维取向以及体积分数。它的破坏基本形式包括基体开裂、界面脱粘、分层和纤维断裂等^[2]。由于材料的断口反映了加载条件、环境因素和材料局部断裂抗力之间的相互作用。研究复合材料的断口,可以了解纤维与基体的结合状况,进而分析复合材料的破坏机理及影响该过程的内外因素,也可间接反映制备工艺对复合材料性能的影响。

图1是石英短纤维增强酚醛复合材料的扫描电子显微镜(SEM)照片。

扫描电子显微镜照片显示:(1)在复合材料中石英短纤维分布较均匀,无树脂聚集现象,纤维与基体结合紧密,复合材料内部未观察到疏松及空洞;(2)断面上纤维束呈随机分布状态,方向各异,各断口纤维束与树脂的比例未见明显差异,但垂直于厚度方向的纤维束相对较少,说明复合材料材料沿模压方向有一定取向,而且材料断裂以层间断裂为主,为了有效发挥模压石英/酚醛复合材料中纤维增强作用,在使用此种材料时应使受拉应力方向垂直于模压方向,受压应力方向平行于模压方向。



(a) 断口



(b) 局部放大

图1 材料断口微观形貌

Fig.1 Microstructure of fracture surface

2.2 模压石英/酚醛复合材料热物理及烧蚀性能

模压石英/酚醛复合材料与模压高硅氧/酚醛复合材料的热导率及比热容相差不大(表2)。由于石英纤维耐热温度达1700℃^[3],高于高硅氧纤维1200℃的耐热温度,石英短纤维/酚醛复合材料在小发动机高状态条件下的线烧蚀速率低于高硅氧短纤维/酚醛复合材料。需要指出的是,模压石英/酚醛复合材料具有较小的线胀系数,仅为模压高硅氧/酚醛复合材料的一半左右,这在实际应用中具有极大价值。

表2 模压石英/酚醛材料热物理性能

Tab.2 Thermal physical properties of moulded quartz-fiber/phenolic composite

材料	热导率/ W·(m·K) ⁻¹	线胀系数/ 10 ⁻⁶ K ⁻¹	比热容/ kJ·(kg·K) ⁻¹	线烧蚀率/ mm·s ⁻¹
模压石英/酚醛	0.51 (250℃)	5.0 (RT~250℃)	1.17 (250℃)	0.102
模压高硅氧/酚醛	0.45 (150℃)	11.1 (RT~200℃)	1.23 (150℃)	0.167

为确定模压石英/酚醛复合材料是否满足中低焓值、较低热流、烧蚀时间较长(≥300s)条件下的烧蚀宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2013年 第4期

变形特性,对模压石英/酚醛复合材料进行了风洞烧蚀试验考核。考核结果显示:模压石英/酚醛材料平板不仅烧蚀量低,而且表面烧蚀形貌良好(图2),烧蚀试验后试样表面平整,变形量小(表3)。



(a) 模压高硅氧/酚醛



(b) 模压石英/酚醛

图2 烧蚀后试样形貌

Fig.2 Sample morphology after ablation

针对高硅氧玻璃纤维纱和石英玻璃纤维纱进行热形变分析显示:(1)两种纤维在常温到1 000℃的升温过程中膨胀形变;(2)两种纤维在1 000℃以上形变变化趋势不同,高硅氧玻璃纤维比石英玻璃纤维更早发生收缩,石英玻璃纤维在1 000℃后仍要经历一个明显的膨胀阶段后才开始收缩;(3)高硅氧玻璃纤维在1 200℃保温500 s后相对形变分别为-0.29%,石英玻璃纤维在1 200℃保温500 s后相

对形变为0.03%,变形量远小于高硅氧玻璃纤维纱。石英玻璃纤维在1 000℃以上保温500 s左右的条件下收缩量明显小于高硅氧玻璃纤维,因此采用石英玻璃纤维替代高硅氧玻璃纤维能够有效减少复合材料的烧蚀变形。

表3 风洞烧蚀试验前后变形量

Tab.3 Ablation deformation before and after wind tunnel tests

材料	平面翘曲变形量/mm	试片边长变形量/mm
模压高硅氧/酚醛	2.2	4.8
模压石英/酚醛	0.4	0.3

3 结论

(1)模压石英/酚醛复合材料具有良好的力学性能,材料断口的SEM照片显示:复合材料中石英短纤维分布较均匀,纤维与基体结合紧密。

(2)模压石英/酚醛复合材料的热导率及比热容与模压高硅氧/酚醛复合材料一致,模压石英/酚醛复合材料具有较小的线胀系数,仅为模压高硅氧/酚醛复合材料的一半左右。

(3)模压石英/酚醛复合材料在中低焓值、较低热流、较长烧蚀时间(≥ 300 s)条件下具有很小的热变形,具有很高的应用价值。

参考文献

- [1] 宋焕成,赵时熙. 聚合物基复合材料[M]. 北京:国防工业出版社,1986:3
- [2] 洗杏娟,李端义. 复合材料破坏分析及微观图谱[M]. 北京:科学出版社,1993
- [3] 李刚,欧书方,赵敏健. 石英玻璃纤维的性能和用途[J]. 玻璃纤维,2007(4):9

(编辑 任涛)