

玄武岩纤维/氨酚醛树脂防热材料的性能

刘毅佳 胡涛 滕会平 杨斌 戴小军

(西安航天复合材料研究所,西安 710025)

文 摘 针对目前固体发动机喷管防热材料的发展现状,制备了玄武岩纤维/氨酚醛树脂复合材料,测试其力学、热以及烧蚀性能,对测试后试样表面进行微观结构分析。结果表明,复合材料的密度 $<1.75 \text{ g/cm}^3$,轴向压缩强度可达 335 MPa,轴向和径向热导率为 $(0.3 \sim 0.4) \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,满足设计要求。

关键词 玄武岩纤维,树脂基防热材料,性能,微观结构

中图分类号:TQ342

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.03.011

Properties of Basalt Fiber Reinforced Thermal Protection Materials

LIU Yijia HU Tao TENG Huiping YANG Bin DAI Xiaojun

(Xi'an Aerospace Composites Research Institute, Xi'an 710025)

Abstract Aimed at the development status of solid rocket motor nozzle thermal protection materials, basalt fiber was used to produce phenolic resin composites. Mechanical property, thermal property and ablative property were tested. The micro-morphology of specimens after test are investigated by SEM. The results show that the density is less than 1.75 g/cm^3 , the max compress strength in axial direction is up to 335 MPa, the thermal conductivity in axial direction and radial direction is $(0.3 \text{ to } 0.4) \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. The requirements of nozzle thermal protection materials are satisfied.

Key words Basalt fiber, Thermal protection materials, Property, Micro-morphology

0 引言

石棉/酚醛是目前固体火箭发动机喷管常用的防热材料,但目前许多国家已全面禁止使用这种危险物质。而一种新型高性能无机纤维——玄武岩纤维被发现具有制备防热材料的巨大潜力^[1]。玄武岩纤维和其他纤维主要性能的对比见表 1。且玄武岩纤维属于“绿色生态材料”^[2],因此引起了航空、航天领域材料专家的普遍关注。

表 1 玄武岩纤维和其他纤维的性能对比

Tab.1 Comparison of properties between basalt fiber and other fibers

纤维类型	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	拉伸强度/GPa	弹性模量/GPa	断裂伸长率/%	最高工作温度/ $^{\circ}\text{C}$
玄武纤	2.73	3~4.84	79.3~93.1	3.1	650
E 玻纤	2.54	3.1~3.8	72.5~75.5	4.7	380
S 玻纤	2.56	4.02~4.65	83~86	5.3	300
碳纤	1.78	3.5~3.60	230~600	1.5~2.0	500
芳纤	1.45	2.9~5.0	70~140	2.8~3.6	250

由于玄武岩短切纤维具有良好的性价比,特别适

于与树脂基体复合用增强材料^[3]。本文采用玄武岩短切纤维作为增强材料,制备氨酚醛树脂基复合材料,测试了其力学、热以及烧蚀性能,并对测试后的试样进行了微观分析。

1 实验

1.1 原材料

玄武岩纤维(CBF):单纤直径 13 μm 、15 μm ,分别标记为 CBF13 和 CBF15,长度为 $(20\pm 5) \text{ mm}$,浙江石金玄武岩纤维有限公司提供;氨酚醛树脂:西安利澳科技股份有限公司生产。

1.2 工艺过程

玄武岩纤维 \longrightarrow 浸胶 \longrightarrow 晾置 \longrightarrow 装模 \longrightarrow 固化 \longrightarrow 脱模 \longrightarrow 机加。

1.3 性能测试

密度测试按 GB1463—88 执行;压缩强度性能测试按 GB/T1448—2005 执行;热常数测试按 Q/GB228—2008 执行;微观结构分析采用日本生产的 JSM-6460LV 型扫描电子显微镜。

收稿日期:2014-04-04

作者简介:刘毅佳,1972 年出生,高级工程师,主要从事树脂基复合材料研究工作。E-mail:lluiyijia@163.com

2 结果与讨论

2.1 力学性能

表2为CBF/氨酚醛与石棉/酚醛的压缩强度对比。可以看出,CBF/氨酚醛的压缩强度明显高于石棉/酚醛。

表2 CBF/氨酚醛的压缩强度

Tab.2 Compress strength of CBF reinforced composites

MPa		
CBF13/氨酚醛	CBF15/氨酚醛	石棉/酚醛
320	335	121

图1为复合材料压缩试样断口形貌,可以看出,复合材料呈现纤维断裂破坏模式。分析认为,树脂基体受压屈服,首先出现微小的裂纹,裂纹扩展的同时,增强纤维受压失稳断裂,随着压力的增加,断口逐渐滑移,最终造成复合材料整体破坏。

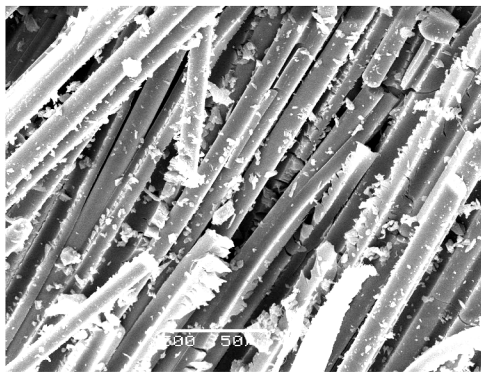


图1 CBF13/氨压缩试样断口形貌

Fig.1 Micro-morphology of compress test samples

2.2 热性能

表3为CBF/氨酚醛与石棉/酚醛热导率对比。可以看出,CBF/氨酚醛轴向和径向的热导率均远小于石棉/酚醛,说明热流在基体和玄武岩纤维组成的复合体系中传递较慢,可起到很好的隔热作用。可以认为,CBF/氨酚醛复合材料可以满足发动机喷管防热材料的性能需求。

表3 复合材料的热导率

Tab.3 Thermal conductivity of composites

复合材料	W/(m·K)	
	轴向	径向
CBF13/氨	0.368	0.378
CBF15/氨	0.309	0.353
石棉/酚醛	0.720	1.352

2.3 烧蚀性能

图2为CBF/氨酚醛与石棉/酚醛的烧蚀性能对比。可以看出,玄武岩纤维/氨酚醛复合材料的线烧蚀率和质量烧蚀率与石棉/酚醛材料基本相当,图3为玄武岩纤维增强氨酚醛复合材料的烧蚀形貌。

目前,普遍认为酚醛树脂防热材料的烧蚀过程大致包括材料吸热、基体树脂分解、增强纤维熔化、升华宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2014年 第3期

以及高温气流冲蚀几个部分。在烧蚀初始,材料吸热并将热量储存起来;当温度达到树脂的分解温度时,树脂开始分解;当温度达到1400℃左右时,玄武岩纤维开始熔化,并在材料表面形成一层黏膜,从而阻止高温气流向材料内部的侵蚀;随着温度的升高,在高温气流作用下,一部分黏膜熔化后被吹蚀成球状,因此烧蚀后试样表面布满了大小不一的圆球。通过对球状物进行能谱分析,表明球状物成分与玄武岩纤维成分基本一致。

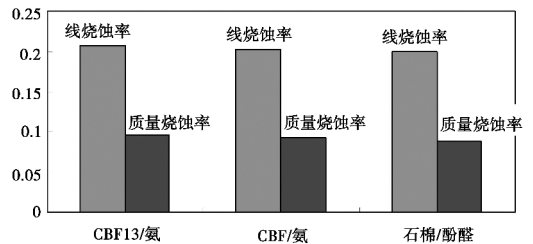


图2 复合材料的氧乙炔烧蚀性能

Fig.2 Oxygen-acetylene ablative properties of composites

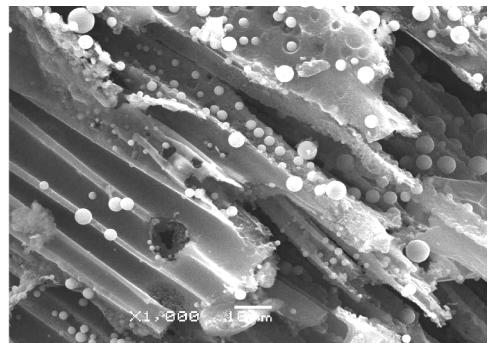


图3 复合材料的烧蚀形貌

Fig.3 Micro-morphology of erosion samples

3 结论

(1)玄武岩纤维/氨酚醛复合材料的轴向和径向压缩强度均显著高于石棉/酚醛。

(2)玄武岩纤维/氨酚醛复合材料的线烧蚀率和质量烧蚀率与石棉/酚醛材料基本相当。

(3)玄武岩纤维/氨酚醛复合材料轴向和径向的热导率均远小于石棉/酚醛,说明玄武岩纤维/氨酚醛复合材料可以满足发动机喷管防热材料的性能需求。

参考文献

- [1] Poloskei C T, Kkarger-Kocsis J. Fracture and failure behavior of basalt fiber mat-reinforced vinyl ester/epoxy hybrid resins as a function of resin composition and fiber surface treatment[J]. Journal of Materials Science, 2005, 40(11): 5609-5618
- [2] 崔毅华. 玄武岩连续纤维的基本特性[J]. 纺织学报, 2005, 26(5): 57-60
- [3] 胡显奇, 申屠年. 连续玄武岩纤维在军工及民用领域的应用[J]. 高科技纤维与应用, 2005, 30(6): 7-13
- [4] 丘哲明, 等. 固体火箭发动机材料与工艺[M]. 北京: 宇航出版社, 1995: 347-354

(编辑 吴坚)