

陶瓷隔热瓦力学性能影响因素及其稳定性控制

王 钦 胡子君 孙陈诚 鲁 胜 李俊宁

(航天材料及工艺研究所先进功能复合材料技术国防科技重点实验室,北京 100076)

文 摘 通过研究陶瓷隔热瓦力学性能与密度之间的变化关系,发现陶瓷隔热瓦的密度均匀性是影响其力学性能稳定性的重要因素。通过工艺改进制备了力学性能稳定的陶瓷隔热瓦,陶瓷隔热瓦的平均拉伸强度由 0.250 MPa 提高到 0.786 MPa。结果表明:提高陶瓷隔热瓦的密度均匀性是控制其力学性能稳定性的有效途径。

关键词 隔热瓦,力学性能,密度

Factors Affecting Mechanical Properties and Stability Control of Ceramic Insulating Tile

Wang Qin Hu Zijun Sun Chencheng Lu Sheng Li Junning

(National Key Laboratory of Advanced Functional Composite Materials Technology, Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The relationship between mechanical properties of ceramic insulating tile and density was investigated. It is found out that the uniformity of density has a significant influence on the mechanical properties. Ceramic insulating tile with excellent mechanical properties was fabricated by an optimized process, the mechanical properties were improved from 0.250 MPa to 0.786 MPa. The results show that the increase of the density uniformity is an effective way to improve the mechanical properties of the ceramic insulating tile.

Key words Insulating tile, Mechanical property, Density

1 引言

航天飞机轨道飞行器机身表面大约有三万多块陶瓷隔热瓦用于防热,它们主要用在机身、机翼下表面、垂直尾翼前缘及机身襟翼表面。航天飞机再入飞行环境不仅需要陶瓷隔热瓦具有良好的隔热性能,而且对陶瓷隔热瓦的力学性能提出了较苛刻的要求。陶瓷隔热瓦的力学性能在哥伦比亚号航天飞机失事后,也引起了人们越来越多的研究和关注^[1~2]。

因此,提高陶瓷隔热瓦的力学性能并控制其稳定性是陶瓷隔热瓦性能改进的重要目标,然而,影响其力学性能稳定性的因素很多,控制比较困难。本文研究了陶瓷隔热瓦的密度和力学性能之间的关系,通过工艺优化,改善了陶瓷隔热瓦的密度均匀性,提高了其力学性能,实现了对其力学性能稳定性的控制^[3~4]。

2 实验

2.1 原材料

石英纤维由湖北荆州菲利华石英玻璃有限公司生产, SiO₂ 质量分数 ≥ 99.95%; 莫来石纤维由浙江欧诗漫集团德清晶体纤维厂生产, 牌号 F-1600; 其他辅料均为市售。

2.2 陶瓷隔热瓦的制备及优化方案设计

2.2.1 制备

陶瓷隔热瓦制备的过程:粗坯制备和烧结成型。粗坯制备:把陶瓷纤维和烧结助剂按一定比例搅拌、混匀得浆料,浆料经抽滤、定型、完全干燥后得粗坯。烧结成型:将粗坯放入马弗炉,经 1 200~1 300℃ 烧结后,随炉冷却得陶瓷隔热瓦。

2.2.2 优化方案设计

首先以研究陶瓷隔热瓦密度和力学性能的内在关系为出发点,考察了 3 种陶瓷隔热瓦密度和拉伸强度的关系。对陶瓷隔热瓦粗坯的密度分布进行了分

收稿日期:2009-09-20

作者简介:王钦,1982 年出生,硕士,主要从事高效隔热复合材料方面的研究。E-mail:qin19820124@163.com

析,同时考察其对最终密度分布的影响,寻找陶瓷隔热瓦工艺优化的初步思路。最后通过调整陶瓷隔热瓦烧结过程中的放置方式、烧结时间和保温时间等工艺过程,以解决密度均匀性的方法来提高陶瓷隔热瓦力学性能的稳定性的。

2.3 性能测试

拉伸强度用 GJS-36 型电子万能实验机测试,按 DqES 396-2002 测试,试样尺寸为 20 mm×20 mm×25 mm,测试样厚度方向的拉伸强度,材料的微观结构采用 JSM-6460 型扫描电子显微镜进行观察。

3 结果与讨论

3.1 陶瓷隔热瓦密度和力学性能的关系

设计密度为 0.24、0.26 及 0.28 g/cm³ 的陶瓷隔热瓦(优化前),在不同位置加工拉伸强度测试试样,测试单点试样的密度和对其对应的拉伸强度(图 1)。可以看出,拉伸强度随密度的增加而升高,且在一定范围内波动,图中实线为三块材料上不同位置提取的试样测试值的拟合直线,相关系数为 0.85。由此可以看出,材料的密度与厚度方向拉伸强度存在较好的关联关系,增加材料密度是提高陶瓷隔热瓦拉伸强度的一种行之有效的方法。另一方面,同一材料上不同位置的密度存在较大差异。

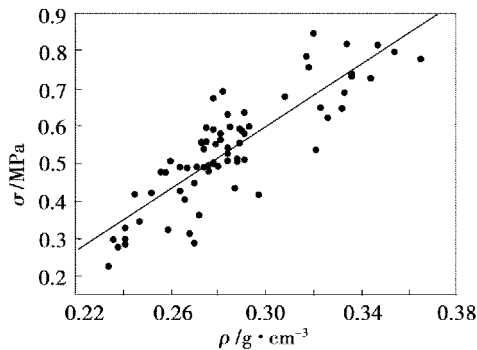


图 1 隔热瓦密度和拉伸强度的关系

Fig.1 Relationship between tensile property and density

为研究材料密度的离散性对材料强度的影响,对上述 3 种密度的材料取固定位置取样加工(图 2),其结果如图 3 所示。结果显示,即使对于相对固定的取样位置,材料的密度也存在明显差异,最大偏差达到 17%。因此,材料密度的离散程度是影响陶瓷隔热瓦力学性能稳定性的主要因素,提高材料密度均匀性是实现材料性能稳定性控制的关键。

利用扫描电镜对陶瓷隔热瓦测试试样的断口形貌进行微观分析(图 4)。陶瓷隔热瓦的微观结构为纤维无规则的排列在一起,彼此之间互相搭接,呈现出多孔的形貌。陶瓷隔热瓦密度均匀性提高后,纤维的排布就会越均匀,纤维之间的搭接点分布也就会越均匀,隔热瓦的力学性能及其稳定性就会更理想。

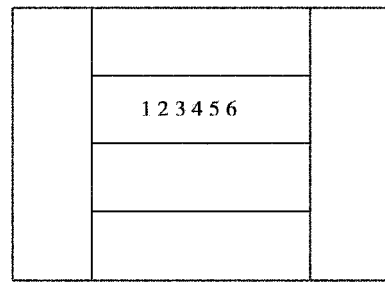


图 2 拉伸强度试样取样位置和试样编号

Fig.2 Location and number of tensile sample

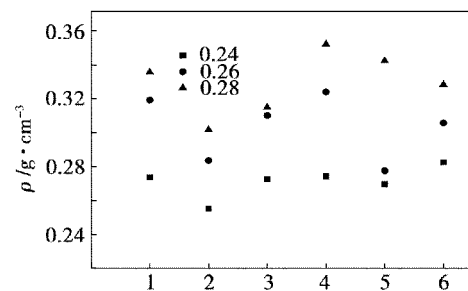
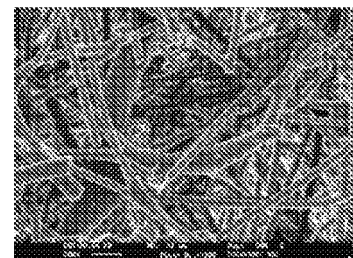


图 3 陶瓷隔热瓦的密度分布图

Fig.3 Density distribution of ceramic insulating tile



(a) 0.24 g/cm³



(b) 0.26 g/cm³



(c) 0.28 g/cm³

图 4 测试试样断口的扫描电镜照片

Fig.4 SEM photographs of fractured surfaces

3.2 陶瓷隔热瓦力学性能稳定性控制

3.2.1 粗坯密度及其分布

粗坯密度的不均匀可能是影响隔热瓦密度不均匀的主要因素(图5)。烧结前隔热瓦粗坯的密度分布为四周低中间高;烧结后为中间低四周高。因此烧结工艺是影响材料密度分布不均匀的主要因素。

0.216 g/cm ³	0.221 g/cm ³	0.214 g/cm ³
	0.232 g/cm ³	
	0.238 g/cm ³	
	0.221 g/cm ³	

(a) 烧结前

0.272 g/cm ³	0.273 g/cm ³	0.272 g/cm ³
	0.255 g/cm ³	
	0.255 g/cm ³	
	0.273 g/cm ³	

(b) 烧结后

图5 陶瓷隔热瓦烧结前后的密度分布

Fig.5 Density distribution of insulating tile before and after sintering

3.2.2 烧结工艺

影响材料密度及其分布的主要因素是加热设备的温度分布和烧结气氛的不均匀流动。利用改造后的设备再次试验,并调整相关工艺参数(图6)。

0.219 g/cm ³	0.216 g/cm ³	0.214 g/cm ³
	0.230 g/cm ³	
	0.234 g/cm ³	
	0.212 g/cm ³	

(a) 烧结前

0.271 g/cm ³	0.274 g/cm ³	0.272 g/cm ³
	0.275 g/cm ³	
	0.278 g/cm ³	
	0.273 g/cm ³	

(b) 烧结后

图6 陶瓷隔热瓦烧结前后的密度分布

Fig.6 Density distribution of insulating tile before and after sintering

可以看出,改进工艺后获得的隔热瓦的密度均匀性得到了明显改善,证实了先前的推断。

工艺改进前后材料密度和拉伸强度的测试结果见表1、表2(设计密度均为0.28 g/cm³)。

表1 工艺优化前后陶瓷隔热瓦的密度

Tab.1 Density of insulating tile before and after optimization

试样编号	工艺优化前密度/g·cm ⁻³	工艺优化后密度/g·cm ⁻³
1	0.366	0.291
2	0.278	0.305
3	0.301	0.292
4	0.324	0.297
5	0.276	0.301
平均值	0.309	0.297
偏差/%	3.7	0.5

表2 工艺优化前后陶瓷隔热瓦的拉伸强度

Tab.2 Tensile property of insulating tile before and after optimization

试样编号	工艺优化前强度/MPa	工艺优化后强度/MPa
1	0.378	0.695
2	0.114	0.762
3	0.190	0.762
4	0.274	0.861
5	0.266	0.850
平均值	0.250	0.786
偏差/%	9.0	6.9
离散系数/%	36	8.8

测试结果显示,工艺改进后隔热瓦的密度均匀性得到了明显的提高,材料的平均拉伸强度由改进前的0.250 MPa 提高到0.786 MPa,离散系数由改进前的36%大幅度降低为8.8%。

4 结论

陶瓷隔热瓦的密度均匀性是影响力学性能稳定性的关键因素,通过工艺改进后,在提高陶瓷隔热瓦密度均匀性的同时,其力学性能也得到明显提高,平均拉伸强度由0.250 MPa 提高到0.786 MPa,力学性能的离散系数由36%降低到8.8%。

由此得出,改善密度均匀性是提高陶瓷隔热瓦力学性能及其稳定性的有效技术途径。

参考文献

- 1 方明虎. SA 系列隔热材料的强度及其影响因素的研究. 航天飞机防热系统材料, 1990
- 2 方明虎, 陈文彩, 朱明娣, 王统寿. 氧化铝纤维增强陶瓷防热瓦课题科技总报告, 1989
- 3 Kwan H W, Spamer G T, Yu J et al. Lightweight ceramics for aeroacoustic applications. NASA Contractor Report, 1997
- 4 Moo Y L, John H H, David R B et al. Mechanical properties of thermal protection system materials. SAND2005-3173, 2005

(编辑 吴坚)