

组合结构对多层反射纳米材料高温隔热性能的影响

孙陈诚 胡子君 陈海坤 王晓婷 周洁洁

(航天材料及工艺研究所, 先进功能复合材料技术重点实验室, 北京 100076)

文 摘 以超薄纳米隔热材料为间隔物、金属箔为反射层制备了多层反射纳米隔热材料, 通过改变隔热材料的组合结构测试其隔热效果。结果表明: 在研究范围内增加不锈钢箔层数、将不锈钢箔放置在低温区或在低温区用铝箔替代不锈钢箔都对隔热效果有利; 测试温度高时隔热效果更好。

关键词 多层反射纳米隔热材料, 组合结构, 隔热效果

Effects of Structure on High Temperature Insulation Performance of Multi-layered Nanoporous Materials

Sun Chencheng Hu Zijun Chen Haikun Wang Xiaoting Zhou Jiejie

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

Abstract Multi-layered nanoporous-insulation materials were prepared with thin nanoporous-insulation materials and metallic foils, Insulation performance of different structures were tested. The results indicated that using more metallic foil layers, placing stainless steel in low temperature zone, or using aluminum foil instead of stainless steel foil in low temperature zone and testing at higher temperature were of advantage to insulation performance.

Key words Multi-layered nanoporous-insulation materials, Structure, Insulation performance

0 引言

多层反射纳米隔热材料由超薄纳米隔热材料和金属箔组合而成, 由于金属箔抑制辐射传热, 纳米结构的间隔物有效降低固体传导和气体传导, 表现出优异的高温隔热性能^[1-2]。热量在不同组合结构材料内的传导规律不同, 导致多层反射纳米材料的高温隔热性能相差很大^[3], 研究不同的组合结构对材料性能的影响规律, 对多层反射纳米隔热材料结构设计和性能提升具有重要指导意义。本文从金属箔层数、金属箔的种类、放置位置和使用温度等四个方面研究了不同结构和使用温度对多层反射纳米隔热材料性能影响。

1 实验

1.1 多层反射纳米隔热材料的制备

根据计算结果设计了多层反射纳米隔热材料的结构, 以超薄纳米隔热材料作为间隔物、金属箔作为

反射层进行铺层, 用石英布进行包裹缝制成多层反射纳米隔热材料试件。

1.2 性能表征

试件通过石英灯模拟考核试验得到其背面温升, 以此表征其高温隔热性能。试验装置如图 1 所示, 试验中通过控温系统控制石英灯加热速率进而达到需要的正面加热温度。图 2 为试验时正面的加温曲线。

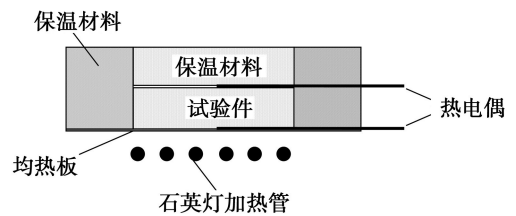


图 1 石英灯模拟考核试验装置

Fig. 1 Apparatus for temperature measurement

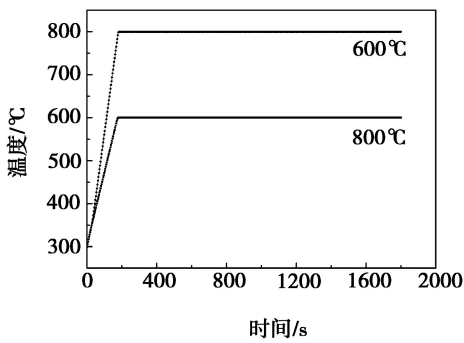


图2 不同温度的正面加热曲线

Fig. 2 Temperature load curves of face side

2 结果与讨论

2.1 不锈钢箔对高温隔热效果的影响

改变超薄纳米隔热材料的厚度和金属箔的数量制备2[#]~4[#]试件,与1[#]试件对比进行石英灯加热模拟考核试验。试件厚度约为20 mm,密度如表1所示,石英灯800℃加热1800 s的背面温升曲线如图3所示。由于不锈钢箔在多层隔热材料内具有反射辐射热和吸热的双重功能,减少热量向内部传播,所以随着金属箔层数的增加,背面温升有明显的下降。金属箔厚度为微米级,改变金属箔的层数对试件的厚度几乎没有变化。试件的密度随着金属箔层数的增多而显著增加。

表1 试件的基本参数及结果

Tab. 1 Parameters and results of multi-layered nanoporous-insulation materials

试件	组成	密度 /g·cm ⁻³	1800 s时背面 温升/℃
1 [#]	50层隔热层	0.248	332.8
2 [#]	50层隔热层+49层不锈钢箔	0.760	220.2
3 [#]	50层隔热层+24层不锈钢箔	0.505	261.6
4 [#]	50层隔热层+16层不锈钢箔	0.417	295.0

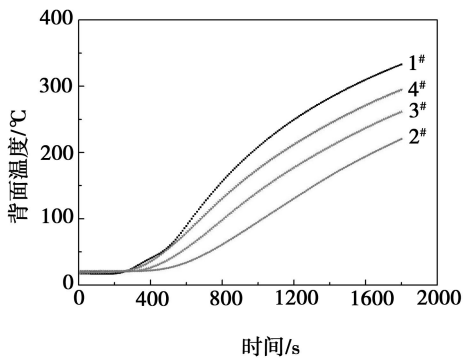


图3 不同金属箔多层反射纳米材料背面温升曲线图

Fig. 3 Influence of numbers of metallic foils on insulation performance

2.2 不锈钢箔位置对高温隔热效果的影响

宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2011年 第6期

高温条件下辐射传热所占比例高,金属箔通过反射能大幅度抑制辐射传热。根据这一原理设计了5[#]试件:高温区金属箔分布密集,低温区分布稀疏。5[#]与3[#]试件的组成和密度如表2所示,石英灯模拟考核结果如图4所示。5[#]试件并没有因为高温金属箔密集,高温反射作用效率高而表现出更为优异隔热性能。分析认为可能是由于不锈钢箔在800℃大气环境下发生严重的氧化,使得表面失去高反射的特性,所以高温区金属箔主要起到“热沉”的吸热作用。石英灯考核过程是一个非稳态的传热过程,距离加热面越远、热流密度越低。作为主要起吸热功能金属箔而言,放置在距离加热面越远的位置,隔热效果越好。选择使用温度高的金属箔或者在不锈钢表面制备抗氧化高反射涂层,有望在高温区更好发挥金属箔高反射抑制辐射热的功能。

表2 试件的基本参数及结果

Tab. 2 Parameters and results of multi-layered nanoporous-insulation materials

试件	组成	密度 /g·cm ⁻³	/1800 s时的 背面温升/℃
3 [#]	50层隔热层+ 24层不锈钢箔(间距相等)	0.505	261.6
5 [#]	50层隔热层+ 24层不锈钢箔(间距不等)	0.490	281.7

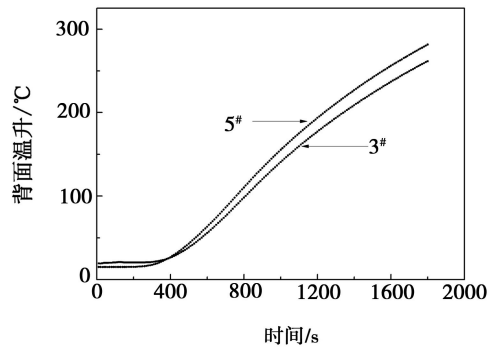


图4 不同位置金属箔试件背面温升曲线图

Fig. 4 Influence of placing zone with metallic foils on insulation performance

2.3 金属箔种类对高温隔热效果的影响

以等厚度的铝箔代替低温区的不锈钢金属箔制备6[#]试件,密度如表3所示。背面温升结果如图5所示,6[#]试件具有更为优异的高温隔热性能。表4为两种箔材的物性参数^[4],1 cm³单位体积内铝箔升高一度吸热2.46 J,而不锈钢箔为3.95 J。但2[#]试件在试验中未能吸收更多热量,表现出更低的背面温升。分析认为:在低温区两者都不发生氧化,反射辐射热的效率是影响背面温升的关键所在,低温下铝箔具有更高反射系数,正是多层铝箔有效的对辐射多次

反射延缓了辐射热向内部传播,从而表现出更好的隔热效果。

表 3 试件的基本参数及结果

Tab. 3 Parameters and results of multi-layered nanoporous-insulation materials

试件	组成	密度 /g·cm ⁻³	1800 s 时的 背面温升/°C
2 [#]	50 层隔热层+49 层不锈钢箔	0.760	220.2
6 [#]	50 层隔热层+20 层不锈钢箔+29 层铝箔	0.660	204.8

表 4 两种箔材的物性参数

Tab. 4 Parameters of metallic foils

箔材	密度 /g·cm ⁻³	比热容 /J·(g·K) ⁻¹
铝	2.67	0.92
不锈钢	7.90	0.50

应较快(200 s 左右),且升温曲线斜率大。试件经 800°C、1 500 s 考核后背温为 127.5°C,试样件两面的温差为 672.5°C;经 600°C、1 500 s 考核后背温为 66.6°C,试样件两面的温差为 533.4°C。

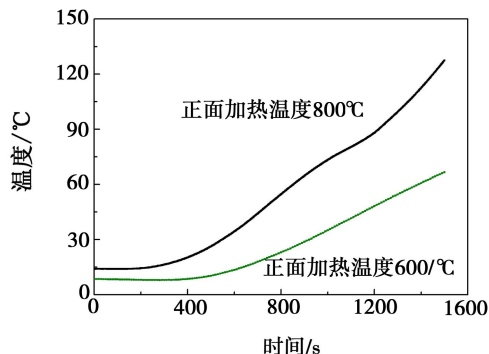


图 6 不同考核温度对材料隔热效果的影响

Fig. 6 Influence of test temperature on insulation performance

3 结论

(1)金属箔的层数越多,试件密度越大,高温隔热效果越好。

(2)一定厚度的多层反射纳米隔热材料,金属箔分布在低温区对高温隔热更有利。

(3)低温区使用铝箔比不锈钢箔具有更好的隔热效果。

(4)对结构均匀的多层反射纳米隔热材料而言,800°C 使用时其高温隔热效果比 600°C 更好。

参考文献

[1] 江经善. 多层隔热材料及其在航天器上的应用[J]. 宇航材料工艺, 2000, 30(4): 17-19

[2] 孙陈诚, 胡子君, 吴文军, 等. 热处理对纤维增强 SiO₂ 气凝胶性能的影响[J]. 宇航材料工艺, 2010, 40(2): 85-87

[3] Kamran Daryabeigi. Design of high temperature multi-layer insulation for reusable launch vehicles[D]. A Dissertation for the Degree of Doctor of University of Virginia, 2000

[4] 蒋维钧, 雷良恒, 刘茂林, 编. 化工原理(上册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998: 671

(编辑 任涛)

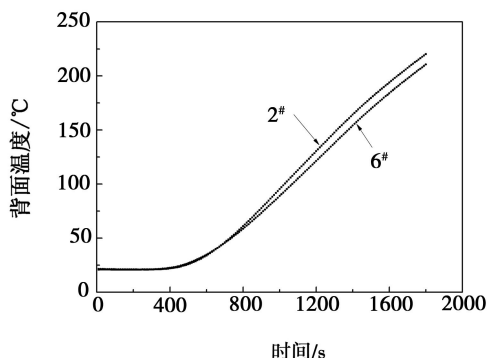


图 5 不同种类金属箔试件背面温升曲线图

Fig. 5 Influence of metallic foils on insulation performance

2.4 测试温度对高温隔热性能的影响

制备了两件同样组合形式的试件分别进行了 600 和 800°C 石英灯考核,结果如图 6 所示。800°C 考核时试件处于更高的温度环境,其热导率较 400°C 高。背面温升与材料的导温系数相关,而导温系数与热导率成正比。600°C 考核时,材料热导率较小、导温系数低,加之考核温度低,所以背温响应较慢(400 s 左右),且升温曲线斜率小。800°C 考核时,材料的热导率增加、导温系数变大,加之考核温度较高,背温响

欢迎订阅 2012 年《聚氨酯工业》

《聚氨酯工业》创刊于 1986 年,国内唯一公开发行的聚氨酯行业专业性科技刊物,现已成为中国科技核心期刊和中文核心期刊。被美国化学文摘(CA)和国内多家期刊数据库收录。《聚氨酯工业》为双月刊,全年订价 80 元,邮发代号 28-344。订阅者也可通过以下单位订阅。

- 一、《聚氨酯工业》发行部:南京市北京西路 72 号 邮政编码:210024;电话:025-83755190,85664648
 - 二、全国非邮发报刊联合征订:天津市大寺泉北里别墅 17 号 邮政编码 300385;电话:022-23962479,23973378;
 - 三、中国化工信息中心期刊图书联合征订部:北京安外小关街 53 号 邮政编码 100029;电话:010-64444115,64444113;
- 通过本刊发行部订阅办法:1. 银行汇款 开户行:中国工商银行南京市草场门支行 账号:4301016309001017389
户名:江苏省化工研究所有限公司
2. 邮局汇款 地址:南京市北京西路 72 号 邮编:210024 收款人:《聚氨酯工业》编辑部