

一种弹性低密度耐高温隔热涂层

张利军 胡润芝 钱蕴 李兴刚 王兴斌

(西安航天化学动力厂,西安 710025)

文 摘 针对固体火箭发动机实际使用的热环境要求,研制了一种弹性低密度耐高温隔热涂层,通过石英灯辐射和电弧风洞试验对其进行了耐热性能考核。该涂层密度为 0.62 g/cm^3 ,伸长率为 25%,热导率为 $0.18 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$;在 401°C 时 DSC 失重率仅为 6.6%;验证考核表明,采用 1.0 mm 涂层时,壳体与涂层界面温度最高为 77.3°C ,壳体背温度最高为 44.5°C 。

关键词 隔热涂层,低密度,耐高温,耐热性能

中图分类号:TQ342

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.03.018

An Elastic Thermal Insulation Coating of Low Density and High-Temperature Resistance

ZHANG Lijun HU Runzhi QIAN Yun LI Xinggang WANG Xingbin

(Xi'an Aerospace Chemical Propulsion Factory, Xi'an 710025)

Abstract An elastic thermal insulation coating with low density and high-temperature resistance was developed for application onto carbon fiber composite case for solid rocket motors exposed to thermal environment, which has experienced static quartz lamp radiation test and arc-heated wind tunnel test for thermal protection performance evaluation. It is observed that the said thermal insulation coating provided such properties as density of 0.62 g/cm^3 , elongation in the range of 25%, and thermal conductivity in the range of $0.18 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. The DSC test results indicated that the weight loss rate is 6.6% at 401°C . The evaluation test has shown that the said thermal insulation coating of 1.0 mm thickness exhibited superior thermal protection performance with case-to-coating interfacial temperature up to 77.3°C and back case surface temperature up to 44.5°C .

Key words Thermal insulation coating, Low density, High-temperature resistance, Thermal protection performance

0 引言

固体火箭发动机通常采用有机涂层进行壳体外部防热,可有效防止发动机在大气层内飞行过程中,因“气动加热”而产生的热烧蚀,确保发动机正常工作^[1-2]。新一代发动机要求此类涂层具有良好的耐热、隔热、力学、老化和工艺性能。

本文针对实际使用的热环境要求,研制一种弹性低密度耐高温隔热涂层,并通过石英灯辐射试验和电弧风洞试验对其进行了耐热性能考核。

1 实验

1.1 涂层组成及制备工艺

涂层由 A、B 和 C 组分组成。先将 A、B 组分按比例混合均匀,再加入 C 组分调节涂料黏度,喷涂成

型,涂层固化条件为:室温(20°C)固化 48 h+ 60°C 固化 24 h。

1.2 涂层性能测试

涂层密度测试按 QJ917A—1997,拉伸强度及伸长率测试按 Q/Gz371—1997,扯离界面强度测试按 Q/G173—2008,热导率测试按 GB/T10295—2008,比热容测试按 GJB330A—2000。耐热性能通过热失重测试表征,采用 DSC822^E 差示扫描量热分析仪,氮气氛围,升温速率 $20^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

1.3 石英灯试验

石英灯辐射试验试样基材为碳/环氧层合板($300 \text{ mm}\times 300 \text{ mm}\times 9 \text{ mm}$),试样结构为基材/底漆/隔热涂层/面漆,无涂层试样、涂层厚度为 1.0 和 1.5

收稿日期:2014-04-08

作者简介:张利军,1978 年出生,硕士,高级工程师,主要从事防热材料研究。E-mail:zhanglijun9863@163.com

mm 的试样,代号为 1-1、1-2 和 1-3,测试条件见图 1。

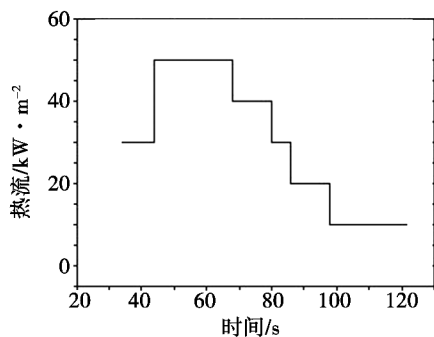


图 1 石英灯辐射试验热流条件

Fig. 1 Heat flux for quartz lamp radiation test

1.4 风洞考核试验

电弧风洞试验试样基材为碳/环氧板(100 mm×100 mm×9 mm),结构为基材/底漆/隔热涂层/面漆。考核试样中,1.0 mm 隔热涂层试样 3 件,代号为 2-1、2-2、2-3;无涂层试样 1 件,代号为 2-4。试验输入条件见表 1。

表 1 电弧风洞试验输入条件

Tab. 1 Input conditions for arc-heated wind tunnel test

台阶编号	时间/s	冷壁热流/kW·m ⁻²
台阶一	0~22	24
台阶二	22~48	49
台阶三	48~94	20

2 结果与讨论

2.1 隔热涂层性能

表 2 为隔热涂层性能。

表 2 隔热涂层性能

Tab. 2 Characteristics of thermal insulation coating

密度/ g·cm ⁻³	导热率/ W·(m·K) ⁻¹	比热容/ J·(kg·K) ⁻¹	拉伸强度/ MPa	伸长率/ %	扯离强度/ MPa
0.62	0.18	1300	1.8	25	1.7

2.2 隔热涂层耐热性能

图 2 为隔热涂层热失重曲线。

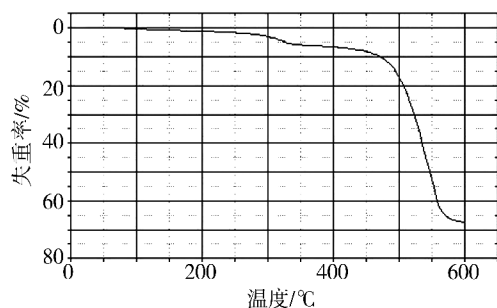


图 2 隔热涂层热失重曲线

Fig. 2 TG curves of thermal insulation coating

可看出:涂层在高于 470°C 后失重率急剧增大;

301°C 时,失重率为 3.0%;401°C 时失重率为 6.6%,此时的热失重主要是由于材料中小分子物质逸出;在 598°C 时,失重率为 67.3%。某发动机气流加热最大温度为 330°C,因此,隔热涂层可满足短时间 330°C 环境的使用要求。

2.3 隔热涂层老化性能

表 3 为隔热涂层力学性能和老化数据。

表 3 隔热涂层的老化性能

Tab. 3 Ageing properties of thermal insulation coating

老化条件	伸长率/%	扯离强度/MPa
老化前	28	1.57
90°C/15d	24	2.25
90°C/48d	23	2.37

从表 3 可看出:涂层在 90°C/48 d 后,伸长率从 28% 降至 23%,变化不大;同时,涂层界面粘接强度从 1.57 升至 2.37 MPa,粘接性能有升高趋势。因此,隔热涂层具有良好的老化性能,能够满足发动机长期贮存要求。

2.4 防热性能

涂层的石英灯试验结果见表 4。可看出:无涂层的碳板,其背温为 55.5°C,比 1 mm 厚涂层试样高出 13.2°C;当涂层厚度为 1.5 mm 时,背温最高为 37.2°C。某发动机理论气流加热最大温度为 330°C,可见 1.0 mm 隔热涂层能够将 330°C 高温降低 217.1°C;涂层厚度增加 0.5 mm,背温降 5.1°C。涂层在经历石英灯试验后,表面完好,无龟裂,面漆颜色稍浅。

表 4 石英灯辐射试验测试结果

Tab. 4 Results of quartz lamp radiation test

试样编号	涂层/基材界面最高温度/°C	试样背温/°C
1-1	330.0(理论值)	55.5
1-2	112.9	42.3
1-3	104.0	37.2

2.5 隔热及抗冲刷性能

隔热涂层风洞试验结果见表 5。

表 5 电弧风洞试验测试结果

Tab. 5 Results of arc-heated wind tunnel test

试样编号	涂层/基材界面最高温度/°C	试样背温/°C
2-1	77.3	44.5
2-2	71.5	41.2
2-3	74.7	43.6
2-4	330(理论值)	78.2

(下转第 94 页)