

高效防热隔热涂层应用研究

赵英民 刘 瑾

(中国海鹰机电技术研究院 北京 100074)

摘 要 对超音速飞行器在 350 ~ 400 之间的热防护问题进行了研究。理论分析和试验结果表明,以环氧有机硅树脂为基料、以氢氧化铝和硼酸等无机物质为填料的低温挥发散热隔热涂层是一种理想的中温区防热隔热材料。

关键词 防热,隔热,涂层

Research on Heat Resistant and Heat Insulated Coating

Zhao Yingmin Liu Jin

(China Seaeagle Electromechanics Group Beijing 100074)

Abstract Thermal protection (350 to 400) materials on supersonic aircrafts are studied in this paper. Theoretical analysis and experimental results show that low temperature volatile coating with organosilicone epoxy resin as matrix and $\text{Al}(\text{OH})_3$, H_3BO_3 etc as fillers is a kind of ideal materials for thermal protection at service temperature of 350 to 400 .

Key words Heat resistant ,Heat insulated ,Coating

1 前言

随着超音速飞行器速度的不断提高,由于气动加热,飞行器表面的温度也越来越高,当超过 200 时,通常作为飞行器结构材料的铝合金已无法承受这样高的热载荷。因此,必须采取防热隔热措施,以防止高温条件下铝合金结构强度和刚度的损失,同时保证舱内仪器设备正常工作,提高飞行可靠性。

当超音速飞行器以较高的马赫数在大气中飞行时,表面温度将达到 350 ~ 400 。在这个温度范围内,厚度薄的耐热/隔热材料当使用时间较长时,没有明显的隔热效果^[1];而传统的低密度烧蚀隔热材料由于在这个温度范围内消融填料不能发挥作用^[2],因此也没有明显的防热隔热效果。为解决这个特定温度区间的热防护问题,必须寻求一种新的途径。经过理论分析和大量的基础性试验,本研究

提出了一种新的隔热机理——低温挥发散热隔热机理,并应用此机理研制了这个特定温度区间的防热隔热涂层。

2 研究内容

2.1 隔热机理的研究

本研究针对低密度烧蚀隔热材料中填料挥发作用温度较高、材料形态发生破坏和轻质耐热隔热材料隔热性能较差等问题,决定采用一种新的隔热机理——低温挥发散热隔热机理,即静态隔热和动态隔热联合作用机理。通过在轻质耐热隔热涂层中添加低温分解或升华无机物填料的方法来研究外隔热涂层,这样既可以增加涂层的隔热效果又能够保证涂层形态在使用过程中不发生破坏。

2.2 低温挥发散热隔热机理的可行性研究和分析
为考核低温挥发散热隔热机理的可行性,本研

收稿日期:2001 - 02 - 16

赵英民,1967 年出生,高级工程师,主要从事非金属功能材料及工艺研究的工作

究选用环氧改性有机硅树脂作为基料,以一定配比的氢氧化铝、硼酸和玻璃空心微球作为填料,配制了一种涂料。

通过小板隔热试验,研究了应用低温挥发散热隔热机理所研制的上述涂层的防热隔热性能。试验件基材为LY12铝合金(2 mm厚),上面涂有2.0 mm厚的涂层。试验时将带有涂层的一面定为上表面,金属面作为下表面,试验分为两种情况进行:

(1)按热流曲线加热,热流曲线见图1。共分为四种状态,试验件编号分别为1[#]、2[#]、3[#]、4[#];

(2)按温度曲线加热,温度曲线见图2。共分为九种状态,试验件编号分别为5[#]、6[#]、7[#]、8[#]、9[#]、10[#]、11[#]、12[#]、13[#]。试验结果见表1。

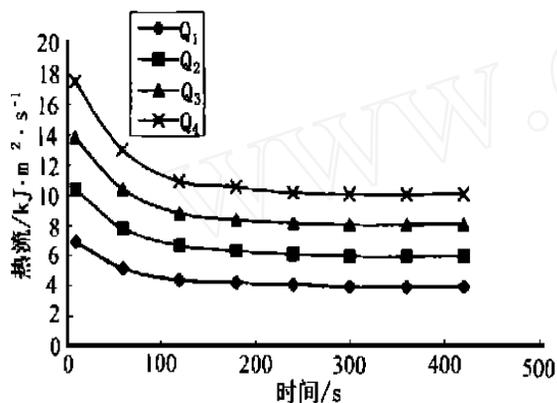


图1 小板隔热试验热流控制数据

Fig.1 Data of controlled heat flux of small-plate heat-insulated tests

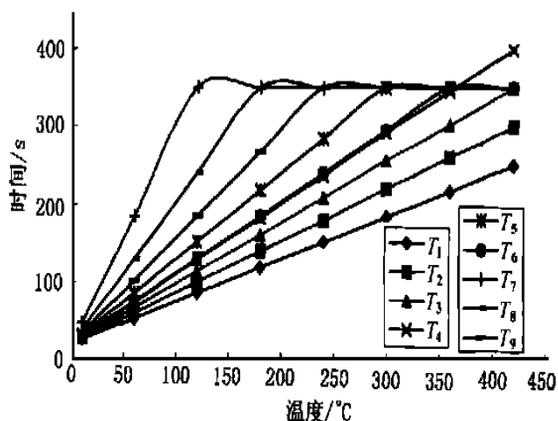


图2 小板隔热试验温度控制数据

Fig.2 Data of controlled temperature of small-plate heat-insulated tests

表1 小板隔热试验结果数据

Tab.1 Results of small-plate heat-insulated tests

试件编号	控制方式	基材最高温度/
1 [#]	按热流曲线 Q ₁ 进行	127
2 [#]	按热流曲线 Q ₂ 进行	147
3 [#]	按热流曲线 Q ₃ 进行	187
4 [#]	按热流曲线 Q ₄ 进行	216
5 [#]	按温度曲线 T ₁ 进行	149
6 [#]	按温度曲线 T ₂ 进行	164
7 [#]	按温度曲线 T ₃ 进行	207
8 [#]	按温度曲线 T ₄ 进行	221
9 [#]	按温度曲线 T ₅ 进行	252
10 [#]	按温度曲线 T ₆ 进行	216
11 [#]	按温度曲线 T ₇ 进行	222
12 [#]	按温度曲线 T ₈ 进行	232
13 [#]	按温度曲线 T ₉ 进行	219

由表1中数据可以看出,涂层经过420 s以不同的方式进行加热后,尽管涂层的正面温度最高已达400,但基材的温度仍然都能保持在250以下,并且涂层表面形态未发生破坏,因此应用低温挥发散热隔热机理研制的涂层有明显的防热隔热性能。

以上试验结果表明,低温挥发散热隔热机理适用于研制飞行马赫数较高的超音速飞行器外隔热涂层。

2.3 涂料的研制

2.3.1 材料的筛选

涂料主要由基料和填料两部分组成,基料和填料都对涂层的各种性能起着重要作用。其中涂层的耐化学药品性能、力学性能和固化性能主要取决于基料的性能;而涂层的耐热隔热性能则主要取决于填料的性能及组成。

通过大量的试验分析比较,本研究选用一种环氧改性有机硅树脂作为涂层的基料,该基料在使用温度下不软化;以氢氧化铝、硼酸、结晶水合物等作为散热无机填料,同时添加适量的玻璃空心微球和

短切玻璃纤维,以增强涂层的隔热能力及高温下的抗气动磨蚀能力。

2.3.2 涂层的性能试验结果和分析

本研究通过小板隔热试验优选出一种涂层配方,并对该配方涂层的性能进行了研究。

(1) 涂层热物理性能

涂层热物理性能试验结果见表2。

表2 涂层热物理性能

Tab.2 Thermophysical properties of the coating

密度/ g cm^{-3}	热导率/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ (50)	比热容/ $\text{J} \cdot (\text{g} \cdot \text{K})^{-1}$ (50)	隔热性能参数/ $10^{-4} \text{g}^2 \text{cm}^{-4} \text{s}^{-1}$
0.85	0.24	1.53	13.3

从表2中的数据可以看出,所研制的隔热涂层其隔热性能参数高于常见的耐热隔热涂层和低密度烧蚀隔热材料^[3],因此该涂层静态隔热性能低于常见的耐热隔热涂层和低密度烧蚀隔热材料,但所研制的隔热涂层具有较低的热分解温度,其热失重数据见表3。

表3 涂层热失重数据*

Tab.3 Data of thermogravimetric analysis of the coating

温度/	失重率/ %
250	5.0
300	7.8
350	14.1
400	18.5
450	25.5

*保温时间为7 min。

从表3中的数据可以看出,所研制的隔热涂层其热分解温度远低于常见的低密度烧蚀材料^[3]。正是由于涂层低温下的分解、挥发散热,才使涂层在使用条件下具有了良好的隔热性能。

(2) 涂层舱段模拟件隔热性能

试验件尺寸为 360 mm × 700 mm,基材为 2 mm 厚 LY-12 铝合金,上面涂敷 2 mm 厚涂层。按图3中的热流曲线进行试验。

按图3中的热流数据进行试验,试验结果见表4。

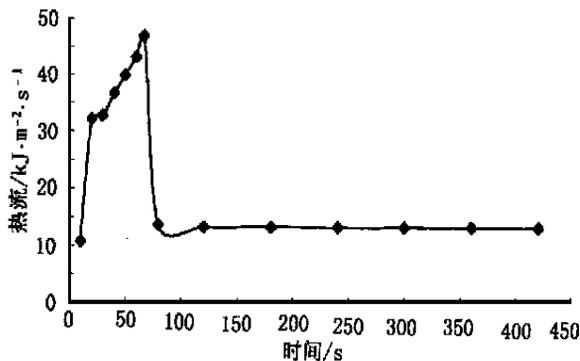


图3 涂层舱段模拟件隔热性能试验热流数据

Fig.3 Data of controlled heat flux of an imitative cabin heat-insulated test

表4 涂层舱段模拟件隔热性能试验结果

Tab.4 Results of an imitative cabin heat-insulated test

时间/s	金属壁温度/	空气温度/
30	19	14
60	38	15
120	84	20
180	104	32
240	118	46
300	128	60
360	134	74
420	139	86

从表4中的数据可以看出,涂层具有良好的隔热性能,并且在试验过程中,涂层形态未发生破坏。

3 结论

(1) 试验结果表明,在 350 ~ 400 的温度区间,对超音速飞行器采用低温挥发散热隔热涂层来进行热防护是一种行之有效的方法。

(2) 所研制的涂层在 350 ~ 400 的温度区间具有良好的隔热性能,并且在试验过程中,涂层形态未发生破坏。

参考文献

- 1 N84—17250
- 2 战凤昌等. 专用涂料. 第一版,北京:化学工业出版社,1988:337
- 3 郭正. 宇航复合材料. 第一版,北京:宇航出版社,1999:144~145