

耐高温异形耐热涂层性能研究

李福祥 张绍波 鲁学峰

航天风华精密设备有限公司 贵州贵阳 550000

摘要: 本文通过采用环氧树脂改性有机硅树脂、耐热填料及助剂研制出一种耐高温异形耐热涂料。该耐热涂料具有较好的物理性能和机械性能,耐热涂层的导热系数低,同时耐热涂层具有良好的耐高温异形功能。

关键词: 耐高温; 隔热; 涂层; 有机硅树脂

耐高温异形耐热涂层材料因其具有质量轻、导热系数低和高温烧蚀异形等优点而成为首选的耐热材料。对于新型号飞行器,由于飞行速度快,飞行器表面气动加热剧烈导致温度急升,如果不采取有效的热防护措施,飞行器基体由于温度过高而导致结构强度下降和设备元件损坏。有机硅树脂具有良好的耐高温性能,但纯有机硅树脂本身存在的缺陷限制了其用途^[1-2],本文通过环氧改性有机硅成膜物质的交联固化反应,提高了耐热涂层的机械性能。该耐高温耐热涂层材料,它既要承受较高的耐热温度,又要保证在高温环境下具有良好的耐热异形效果,同时还具有较好的热性能和环境适应性性能。

1. 基础配方和制备工艺

涂料基础配方:有机硅树脂质量分数为30%~45%,环氧树脂为15%~30%,气相SiO₂为5%~10%,海泡石等填料为25%~35%,各类助剂适量,固化剂(树脂用量的)为10%~15%,有机硅和环氧溶剂适量调节粘度。

按配方称取树脂、填料、混合溶剂于分散锅中,经高速分散、砂磨过滤制备成涂料,将涂料喷涂在试片上,涂装完毕后完成固化。

2. 性能检测

按相关标准测定涂料的常规性能,涂料外观(目测)、不挥发物(GB/T1725)、粘度(GB/T1723)、干燥时间(GB/T1728)、机械性能(GB/T1727)、质量稳定性、耐热性能及静态隔热性能(Q/Ez238)。

3. 性能分析

3.1 耐热涂料常规性能

耐热涂料常规性能包括物性指标(涂料外观、粘度、细度)、工艺指标(表干、实干)及机械性能指标(附着力、冲击强度、柔韧性)。

表1 耐热涂料物理性能指标检测

项目	单位	性能要求	检测结果
----	----	------	------

涂料外观		黄色悬浮体系,允许分层	黄色悬浮体系,有分层
粘度	s	30 ~ 60	34
细度	μm	≤ 45	37
表干时间	min	15	6
实干时间	h	96	48
柔韧性	mm	≤ 3	2
附着力	级	≤ 2	1
冲击强度	kg.cm	≥ 40	50

从表1的常规性能检测结果可知,该耐热涂料具有良好的物理性能和机械性能,树脂和填料的选择及涂料的性能满足预期的要求。

3.2 耐热涂层耐热性能



图1 耐热750°C



图2 耐热800°C

取3块钢试片,制作薄涂层测静态耐热性能(图1、图2)。从上图耐热性能测试结果可以看出,耐热温度750°C时,试片表面漆膜局部碳化,无起泡、脱落现象,耐热温度800°C时,漆膜均匀碳化,无起泡、脱落现象,说明在该温度下涂层表现出较好的耐热效果。

3.3 耐热涂层静态隔热性能

3.3.1 试验步骤

a)采用喷涂法在试板上制备涂层,涂层厚度控制在(0.8 ~ 1.0)mm之间,试片喷涂完固化烘干、备用。

b)用配有温度自动控制器的电炉作为加热源,打开控温按钮给电炉通电加热,其温度由室温升到650°C,并保持在650°C ± 5°C范围内。将涂有隔热涂层的试片平推到热源通道上,立即用红外线热感温度枪测试其背温,同时记录0s ~ 200s背温的变化情况,每20s记录一次。

3.3.2 试验结果与分析

表2 隔热涂料涂层隔热性能(镁试片)

时间(s)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
试片1(℃)	55	72	90	101	112	125	134	137	141	144
试片2(℃)	53	80	85	91	99	103	110	113	119	121
试片3(℃)	54	77	82	195	110	115	121	124	127	130

表3 隔热涂料涂层隔热性能(钢试片)

时间(s)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
试片1(℃)	52	79	89	101	113	120	123	132	135	136
试片2(℃)	49	66	85	92	103	108	113	118	121	123
试片3(℃)	48	64	84	95	104	110	113	117	120	122

从表2、表3的测试结果可知,镁试片加热面0.9mm的隔热涂层,静态加热650℃,加热时间200s,试板的最高背温144℃,涂层均匀烧蚀碳化无开裂、脱落现象(见图3),静态隔热效果良好。对钢试片进行隔热实验,静态加热650℃,加热时间200s,试板的最高背温136℃,涂层均匀烧蚀碳化且无开裂、脱落现象(见图4),静态隔热效果良好。

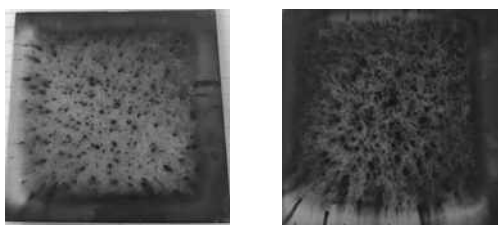


图3 镁+涂层静态隔热 图4 钢+涂层静态隔热

3.4 隔热涂层热性能参数测定

涂层的隔热性能指标反应了涂层隔热性能,主要包括热扩散系数、导热系数、比热容及质量烧蚀率^[3]。导热系数、热扩散率表征了非稳态导热过程中温度的传播能力,导热系数、热扩散率高,则传热快;导热系数、热扩散率低,则传热慢。比热容表征单位体积的贮热量,质量烧蚀率表征单位时间质量的损失量。其试验结果见表4。

表4 涂层热性能测试结果

项目	编号	1	2	3	平均值
	温度				
C _p 比热容: J/(g·K)	100℃	1.456	1.400	1.450	1.436
	200℃	1.706	1.662	1.600	1.656
α 热扩散率: mm ² /s	100℃	0.088	0.092	0.095	0.092
	200℃	0.068	0.083	0.081	0.077
λ 导热系数: W/(m·K)	100℃	0.133	0.112	0.128	0.124
	200℃	0.120	0.120	0.121	0.120
质量烧蚀率 (氧乙炔烧 10s): g/s	1	0.0760			0.0739
	2	0.0733			
	3	0.0724			

3.5 质量保持率测定

3.5.1 质量保持率试件的制作

精准称量每一块试板的重量,记录并做好标识。采用喷涂法在试板上制备涂层,可多次涂覆,涂层厚度控制在(0.9~1.1)mm之间;涂层固化后将试片周缘清理打磨,称量每一块试板的重量。

3.5.2 质量保持率测试

a) 马夫炉从室温升到850℃,将试件放入炉腔中,保温5min后立刻取出试件,试件在取出时不能损伤涂层,试件测试状态如图9。

b) 试件回到室温后检查涂层状态,称取试件重量,如此测量3个试样,用差量法计算涂层的质量保持率(见表5)。

表5 隔热涂层质量保持率

试片质量(g)	喷涂前	喷涂后	850℃ 5min后	涂层质量保持率%
试片1	79.1	89.4	83.3	41.0
试片2	78.1	88.2	82.3	41.6
试片3	78.8	89.4	83.2	41.5

从表5涂层质量保持率测试中,可以看出涂层850℃/5min的质量保持率大于40%,涂层均匀碳化、不开裂、不脱落,隔热涂层具有良好的耐高温烧蚀变形的性能。

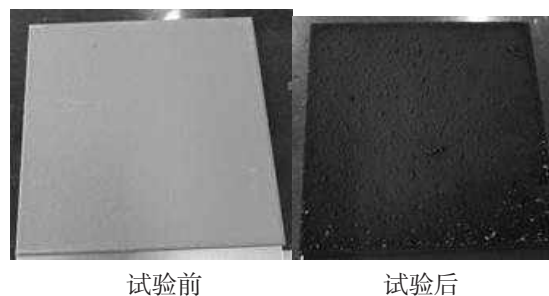


图5 质量保持率测试前后图片

3.5.3 耐高温烧蚀变形分析

由图中数据可知,350℃时,涂层的质量损失率较小,这是因漆膜中残存的小分子有机物的分解所致,400℃时涂层的质量保持率为91.8%,失重变化不显著,由此可推断改性的有机硅树脂能起到很好的耐热效果。当温度从550℃到650℃时,涂层的热失重率趋于平缓(图6),这是由于涂层中耐高温填料的功能开始显现,无机膜的作用开始增强,这一温度过程也是有机膜向无机膜转化的过程^[4];当温度从650℃到750℃时,质量损失率增大是由于高温下有机物进一步被烧蚀、分解,无机膜进一步形成的原因;温度从750到850时,涂层的质量损失率变化较小,这是因有机成分不再损耗,形成具有维形状的无机碳化层。试验中试片表面涂层均匀碳化、不开

裂、不脱落，表明隔热涂层具有良好的耐高温烧蚀维形的功能。

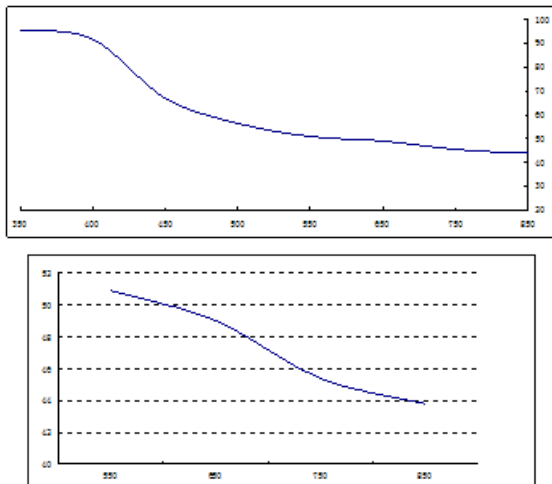


图6 隔热涂层不同温度质量保持率曲线图 图6.1 不同温度质量保持率

4 结论

根据上述试验分析，得到如下试验结果：

1) 耐高温隔热涂层具有优异的机械性能和物理性能，同时隔热涂层的耐热性能可达800℃，静态隔热性能优良，钢/镁试片的背温均低于250℃，隔热涂层的导

热系数为0.125W/(m·k)左右，隔热涂层综合性能在国内处于领先水平。

2) 质量保持率试验验证了隔热涂层具有良好的耐高温和维形功能。

参考文献：

- [1]刘成楼，刘昊天.环氧改性有机硅耐高温防腐隔热涂料的研制[J].上海涂料，2014,52(5):6-10.
- [2]刘仲阳，狄志刚，勾运书，等.有机硅耐高温涂料的研究进展[J].涂料工业，2019,49(2):83-87.
- [3]胡传圻，杨爱第，特种功能涂层，北京，北京工业大学出版社，2009，31-62
- [4]王海侨，李营，荀国立，等.有机硅耐高温涂料的研究[J].北京化工大学学报（自然科学版），2006,33(1):59-62.

作者简介：李福祥，男，1968年4月1日，汉，贵州省遵义市，本科，高工，机械加工。张绍波，男，1967年8月，汉，贵州省遵义市，本科，高工，非金属材料。

鲁学峰，男，1991年3月，汉，贵州省贵阳市，硕士研究生，工程师，非金属材料。