

# 非易燃易爆溶剂在喷涂烧蚀隔热涂层中的应用

肖世明 余剑 王绍成 高云翔 侯旭东

(首都航天机械有限公司,北京 100076)

**文 摘** 为消除易燃易爆的风险,使用非易燃易爆溶剂 SK-410B 代替汽油作为烧蚀隔热涂料的稀释剂。测试了涂层的剪切强度、低温性能、耐湿热性能。电弧风洞试验结果表明:涂层抗冲刷性能良好;试片的最高背面温度为 55℃,可满足使用要求。

**关键词** 非易燃易爆,烧蚀隔热涂层,稀释剂

中图分类号:TQ639.2

DOI:10.12044/j.issn.1007-2330.2018.04.019

## Application of Non-Inflammable and Non-Explosive Solvent on Painting Ablation-resistant Heat-Insulating Coating

XIAO Shiming YU Jian WANG Shaocheng GAO Yunxiang HOU Xudong

(Capital Aerospace Machinery Limited Company, Beijing 100076)

**Abstract** In order to eliminate the risk of inflammable and explosive, spraying ablation-resistant heat-insulating paint was realized by using non-inflammable and non-explosive solvent SK-410B as the diluents instead of gasoline. The shear strength, low temperature performance and hygrothermal property were tested. Arc heated wind tunnel test has shown that the coating has excellent thermal protection performance. The maximum temperature of the back-side is 55℃. This method can satisfy the use requirement

**Key words** Non-inflammable and non-explosive, Ablation-resistant heat-insulating coating, Diluents

### 0 引言

导弹在飞行过程中会遇到严重的气动热问题,烧蚀隔热涂层作为热防护材料的重要一类,可保障导弹在飞行过程中不因气动过热导致故障。烧蚀隔热涂层因其工艺简单,受产品结构影响小,喷涂周期短、成本低,广泛应用于导弹发动机及其舱体的外表面防热<sup>[1-2]</sup>。目前,喷涂烧蚀隔热涂层一般使用 120 号汽油作为稀释剂来调整喷涂黏度。闪点是表征可燃液体着火燃烧的危险程度的重要因素。当可燃蒸发的蒸气与空气混合,达到爆炸下限时,遇到外界火焰将引起爆燃,此时可燃液体表面的最低温度即为闪点<sup>[3]</sup>。虽然汽油具有“易挥发、使用范围广”等优点,但汽油的闪点(-50~20℃)较低,为易燃易爆品,其闪点低的特性仍为喷涂过程带来了巨大的安全隐患<sup>[4]</sup>。目前,已经有非易燃易爆溶剂应用于多种类型产品喷涂前除油工序,但尚未发现应用于喷涂烧蚀

隔热涂层。本文使用非易燃易爆溶剂 SK-410B(北京晟昌盛达商贸有限公司)替代汽油作为烧蚀隔热涂料的稀释剂,以减少汽油的使用量,并测试了涂层的剪切强度、低温性能、冲刷隔热性能等。

### 1 实验

#### 1.1 涂层制备工艺

涂层喷涂流程为:喷涂表面处理剂→干燥 15~30 min→配制隔热涂料→喷涂烧蚀隔热涂层(多遍)→测量涂层厚度。涂层由组分 A、固化剂 B 组成。首先将组分 A、固化剂 B 按比例混合均匀,然后加入稀释剂调节涂料黏度至 30~40 s,喷涂成型。传统的稀释剂为 120 号汽油,本文使用非易燃易爆溶剂 SK-410B 代替汽油作为稀释剂,按照相同的喷涂流程喷涂烧蚀隔热涂层。

#### 1.2 SK-410B 主要性质

SK-410B 溶剂为烷烃类物质组成的混合物,如

收稿日期:2018-01-24

基金项目:中国航天科技集团公司共性工艺研究项目(GXGY-2015-001);中国运载火箭技术研究院工艺改进与研究项目(GYGJ15-211-39)

第一作者简介:肖世明,1986 年出生,硕士,主要从事运载火箭产品喷涂、电镀、化学氧化等工作。E-mail:supremecourage@163.com

石油分解中间体、渗透剂、阻燃剂、SP 稳定剂、脱脂助剂等。SK-410B 溶剂为无色透明液体,具有轻微溶剂味,密度(20℃)为(1.150±0.010) g/cm<sup>3</sup>,闪点>95℃。SK-410B 溶剂具有挥发速率快、挥发彻底无残留的特点。

### 1.3 涂层性能测试

#### 1.3.1 剪切强度测试方法

试片使用 2 mm 厚经阳极化的 2A12 铝板;用铅笔划定好搭接面积;20 mm×15 mm;在搭接面上喷涂一层表面处理剂,室温下晾置 15~30 min;将固化剂 B 和一定量的 SK-410B 溶剂加到涂料中并搅拌均匀,调整至涂料的刮涂黏度 20~30 s,立即用玻璃棒在试片上刮一层涂料,不需晾置,在 0.5 h 内搭接;装入夹具后施以接触压力,室温固化 7 d 后测试,共测试 5 组。

#### 1.3.2 低温性能测试方法

试片制备,50 mm×100 mm×1 mm 经阳极化的

2A12 铝板,涂层厚度 1.0~1.2 mm,在室温下固化 7 d 后,进行试验;

试验仪器,低温箱(-60℃~常温)、曲率半径 260 mm 木模;

试验步骤,首先将低温箱的温度调至(-45±4)℃;然后将试片放置于低温箱中,保温 1 h;取出后立即在曲率半径为 260 mm 的模板上弯曲;目测涂层表面状态。

#### 1.3.3 湿热试验

湿热试验试片规格为 50 mm×100 mm×1 mm 经阳极化的 2A12 铝板。试验条件:30~60℃,相对湿度 85%~95%,一个周期 24 h,试验时间 21 d。

#### 1.3.4 冲刷隔热性能试验

采用电弧风洞试验考核涂层的耐冲刷隔热性能,涂层厚度为 3.5~4.0 mm。电弧风洞试验输入条件见表 1。

表 1 电弧风洞试验输入条件

Tab.1 Input conditions for arc-heated tunnel test

台阶序号	气流总焓/MJ·kg <sup>-1</sup>	冷壁热流密度/kW·m <sup>-2</sup>	气体动压/kPa	持续时间/s
I	0.2	0	60	80
II	10	25	4.8	80

## 2 试验结果

### 2.1 剪切强度

5 组剪切试验结果分别为 1.7、1.8、1.6、1.6、1.7 MPa,平均值为 1.68 MPa。技术条件要求剪切强度不小于 1.3 MPa。因此使用 SK-410B 作为稀释剂后,涂层的剪切强度可以满足使用要求。

### 2.2 低温性能测试

低温性能测试前后的图片对比情况见图 1。可以看出,经过低温并弯曲后,涂层的表面没有发生断裂。使用 10 倍放大镜目视检查后,也没有发现微小的裂纹。这说明使用 SK-410B 代替汽油喷涂后,涂层在低温下的韧性仍然较好。

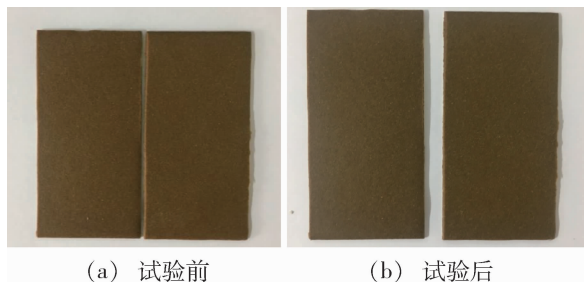


图 1 低温性能测试结果

Fig.1 Results of low temperature performance test

### 2.3 湿热试验结果

经过湿热试验后,涂层与试片结合良好,没有出现

“起泡、脱落”现象。

### 2.4 冲刷隔热性能试验

#### 2.4.1 试片外观变化

经过第一台阶 80 s 的试验后,涂层保持完好。经过第二台阶 80 s 的试验后,除涂层表面被烧蚀外,涂层外形基本保持完好。试验前后试片见图 2(其中气流方向为从右向左)。可以看出,涂层与铝合金基体结合良好,没有出现“鼓泡、脱落”等现象。这说明使用 SK-410B 作为稀释剂喷涂的涂层抗冲刷性能良好,可以满足试验要求。

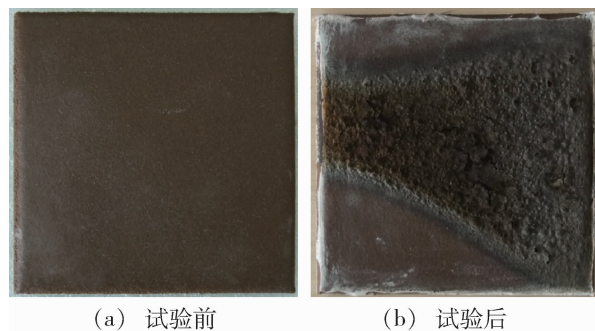


图 2 抗冲刷性能试验结果

Fig.2 Results of erosion resistance test

#### 2.4.2 试片背温变化

图 3 为试片背温变化曲线。可以看出:试片的最高背面温度为 55℃。这说明涂层具有良好的隔热性

能,可以满足“背温 $\leq 90^{\circ}\text{C}$ ”使用环境要求。

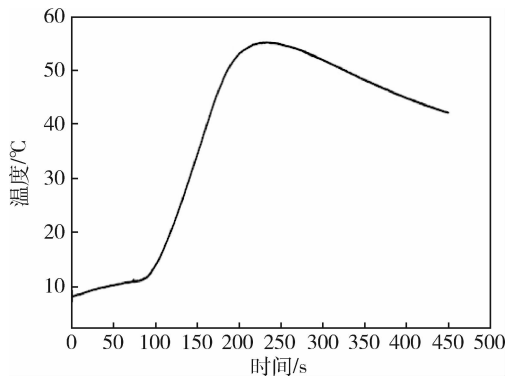


图3 背温变化曲线

Fig.3 Back temperature curves of the sample

### 3 结论

采用SK-410B溶剂代替汽油作为烧蚀隔热涂层的稀释剂。涂层的剪切强度均 $>1.3\text{ MPa}$ ;涂层具有良好低温性能和耐湿热性能;经过电弧风洞试验,涂层具有良好的抗冲刷性能和隔热性能。

#### 参考文献

- [1] 肖军,章凯军,李晓升,等.一种防热涂层的应用工艺[J].宇航材料工艺,2013,43(5):74-77.
- [2] 秦锋,苏菁,马天信,等.温度变化对某防热涂层粘接性能的影响研究[J].航天制造技术,2016(5):44-47.
- [3] 武丽娜,陈睿谦.混合液体闪点确定的计算方法[J].化学工程,2016,44(1):75-78.
- [4] 郑达,董琛.鱼雷新型清洗剂的可行性研究[J].现代制造技术与装备,2016(5):61-64.

(上接第91页)

因此,2只箱体同时加工,合并相同的加工内容,减少换刀和换角尺头频次,使单只箱体总的加工周期缩短35h。

#### 3.3.2 合理分配长度余量,减少舵轨端面加工

舵轨端面与法兰端面有尺寸要求,改进前平均分配总长加工余量,因此每次都需加工舵轨端面,以保证舵轨端面与法兰端面的距离,加工时间为8h。为了降低加工周期,合理安排箱体两端的加工余量,不实行平均分配总长加工余量。改进后舵轨端面不再加工,一端法兰厚度也不需加工,节约加工时间8h。

#### 3.3.3 工艺方法改进

在加工法兰面两侧及 $R20\text{ mm}$ 时,侧面的加工余量与 $R20\text{ mm}$ 圆角处的加工余量不同,加工到法兰端面时,圆角处的余量较大,易使箱体产生振动和移动,影响产品质量。然而加工到圆角时却未加工到法兰面两侧,导致空行程较多,影响加工周期,单只箱体前后法兰两侧加工共需时间12h。改为先由钳工手工打磨圆角至 $R25\text{ mm}$ ,再上机床进行铣加工,仅需粗精加工就完成法兰面两侧及圆角 $R20\text{ mm}$ ,钳工打磨和机加工共需时间1h,既避免了质量隐患,又提高了加工效率,保证了产品质量。通过此改进节约加工时间11h。

综上所述,优化前单件总加工时间为100h,优化后单件总加工时间为46h,加工效率提高了54%。

### 4 结论

本文针对复合材料发射箱箱体特点,分析了机加工过程的难点,针对难点制定了合理的加工工艺,经过长时间的摸索,进行工艺优化,制订了一套加工玻璃纤维复合材料箱体的刀具和加工参数,减少了分层、毛刺、孔口撕裂的缺陷,提高了加工质量,生产周

期也由优化前的100h降到了现在的46h。加工效率提高了54%,显著降低了加工成本。

#### 参考文献

- [1] ChAWLA K K. Composite materials: science and engineering[M]. Springer, 2012.
- [2] 张秀丽,张振国,魏风养,等.高强玻璃纤维复合材料的铣削加工性能研究[J].材料导报,2009(08):84-87.
- [3] DAVIM J P, REIS P. Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced pastics using design experiments[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 160(2): 160-167.
- [4] 冯小明,张崇才.复合材料[M].重庆:重庆大学出版社,2011.
- [5] 康文利.工程塑料的切削性能研究[J].工具技术,2003(10):28-30.
- [6] 杜善义.先进复合材料与航空航天[J].复合材料学报,2007,24(1):1-12.
- [7] 何亚飞,矫维成,杨帆,等.树脂基复合材料成型工艺的发展[J].纤维复合材料,2011(2):7-13.
- [8] 陈祥宝,张宝艳,邢丽英.先进树脂基复合材料技术发展及应用现状[J].中国材料进展,2009,28(6):2-12.
- [9] 宋中权.玻璃纤维增强复合材料钻削加工试验研究[D].南京理工大学硕士论文,2011.
- [10] 高航,孙超,冉冲,等.叠层复合材料超声振动辅助螺旋铣削制孔工艺的试验研究[J].兵工学报,2015,36(12):2343-2349.
- [11] ZHANG L B, WANG L J, WANG X. Study on vibration drilling of fiber reinforced plastics with hybrid variation parameters method [J]. Composite Part A, 2003, 34(3): 237-244.
- [12] RAMKUMARA J, MALHOTRA S K, KRISHNAMURTHY R. Effect of workpiece vibration on drilling of GFRP laminates [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 152:329-332.