

文章编号: 1672-8785(2012)07-0011-05

航天光学遥感器用 XM-23 密封剂的 微应力使用工艺研究

刘 强^{1,2} 张 峰¹ 何 欣¹ 李 畅^{1,2}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033 ;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 对航天用 XM-23 密封剂进行了仔细研究。重点考虑了其作为阻尼剂在航天光学遥感器反射镜组件中的应用情况, 分析了其各组分构成及功能, 合理选择了各组分质量配比, 优化了和胶过程中各组分的添加顺序, 形成了常温常压初固化、常温常压基本固化、真空高温后固化的固化工艺。最终得出了一种比较理想的可用于空间反射镜组件结构微应力密封的使用工艺路线。试验数据表明, 该使用工艺路线时间短, 内应力小, 各组分分配比合理, 达到了空间项目中对密封剂微应力的使用要求, 因而可以广泛应用于空间结构。

关键词: XM-23 密封剂; 微应力; 配比分析; 固化工艺

中图分类号: TH122 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.07.003

Study of Micro-stress Technics of XM-23 Sealant for Space Optical Remote Sensor

LIU Qiang^{1,2}, ZHANG Feng¹, HE Xin¹, LI Chang^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanic and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The XM-23 sealant for space application was studied carefully. The application of it in the mirror subassembly of a space optical remote sensor as a damping agent was mainly considered. Its composition and function were analyzed. The mass ratio of each component was selected reasonably and the adding sequence of each composition in the sealant mixing process was optimized. Finally, an ideal curing process route for sealing the mirror subassembly of a space optical remote sensor in micro-stress was obtained. The testing result showed that the process route had the features of less time, less internal stress and reasonable composition ratio. It met the micro-stress requirements of the sealant used for space application. Therefore, it could be widely used in the structures for space application.

Key words: XM-23 sealant; micro-stress; mass ratio analysis; curing process

收稿日期: 2012-06-05

基金项目: 中国科学院三期创新工程资助项目 (074Z3JN70)

作者简介: 刘强 (1981-), 男, 内蒙古赤峰人, 博士研究生, 主要研究方向为空间光学遥感器的结构设计。

E-mail: liudequ@126.com

0 引言

密封胶黏剂简称密封胶或密封剂,它是一种兼具密封和粘接作用的重要功能性材料。密封剂既能防止内部气体和液体发生渗漏,又能防止外部灰尘、水分和化学介质侵入。另外,它还能防止出现机械松动和冲击损伤现象,并能起到隔声、保温、阻尼、减振、防腐和阻燃等作用^[1-5]。

正因为有如此多的优点,密封剂在航空航天领域的应用也越来越广泛。例如,利用密封剂的阻尼减振特性,将其填充到空间光学反射镜支撑部件的柔性结构中,便能有效提高组件的结构稳定性,从而有利于保证反射镜的面形精度及光轴指向。但同时存在的问题是,若使用不恰当的工艺,则会遇到因密封剂的固化所产生的内应力问题。内应力的存在会导致零件变形,还会增加零件的自身刚度,进而影响反射镜的指向精度。因此需要寻找一种合理的密封剂微应力使用工艺。只有在充分理解密封剂的自身特点的基础上,按照不同用途来充分利用和发挥密封剂的自身优点,才能更好地在航天工程上应用密封剂。本文对 XM-23 密封剂使用工艺展开了研究,并对其进行了理论分析和试验验证,总结出了一条优化组分配比、内应力小、室温固化且较为合理的使用工艺路线。

1 使用工艺研究

XM-23 密封剂由基胶、硫化剂、增粘剂和促进剂四种组分构成,其使用过程可以分为各组分分配比、和胶以及固化三个关键步骤。

1.1 组分配比研究

XM-23 密封剂由四种组分构成,生产厂家也已经给出了推荐的使用配比。四种组分按基胶:硫化剂:增粘剂:促进剂的质量比为 100:7:1.5:0.1~1.5,航天上常用的是 100:7:1.5:0.4~0.7。其中,促进剂的使用量为一个范围值,人们可按照需求量来选择使用量。因此,密封剂使用的配比问题是使用时最需要解决的一个问题。

在使用之前,应对密封剂的各组分构成及功能进行分析^[6-9]:

(1) 基胶——聚硫型胶。它是二氯烷烃与多硫化钠在分散体系中经缩聚、脱硫、水洗、裂解、凝聚、水洗和烘干等工艺过程而制成的(呈黑色、粘稠状膏体)。

(2) 硫化剂。二氧化锰与基胶聚合物发生化学反应,从而使密封剂产生硫化。硫化剂为黑色膏状物体,并伴有刺鼻的味道。

(3) 增粘剂——环氧树脂。它对各种金属和非金属材料都有良好的粘接力。

(4) 促进剂。其主要成分为二苯胍。它的加入既可促进密封剂的硫化,又可使硫化体系对水及环境湿度的敏感性降低。

由此可见,通过调整促进剂的用量可以改善密封剂的良好硫化状态。这也是控制硫化速度和降低内应力的主要工艺措施。对于促进剂的配比区间,需要进行仔细考虑。表 1 列出了不同用量的促进剂的固化时间,这是针对在常温常压下从和胶完毕到胶体已经不软化、不粘手、不溶解、不膨胀的完全固化状态计算出的。

表 1 不同用量的促进剂的固化时间(超精密恒温室的室温为 20℃,湿度为 45%)

Mass ratio of basic agent, vulcanizing agent, tackifier and accelerator				Curing time
100	7	1.5	0.4	(121 hours) 5 days
100	7	1.5	0.5	(78 hours) 3 days
100	7	1.5	0.6	(51 hours) 2 days
100	7	1.5	0.7	(41 hours) 2 days

从表 1 中可以看出,促进剂的不同用量对密封剂的固化速度有很大的影响。随着促进剂用量的增加,固化时间会越来越短。但是随着固化时间的缩短,必然会产生越来越大的内应力。另一方面,当促进剂用量比较小时,如促进剂比例为 0.4 时,固化时间较长。在固化期内,密封剂混合物的流动性较强,在重力作用下容易造成胶层薄厚不均。因此在航天应用中,需要选择工艺时间短且内应力小的配比方式。结合以往的

使用经验, 促进剂选择 0.5 和 0.6 的剂量比较适宜。

1.2 和胶工艺

在和胶过程中, 各组分的添加顺序也需要根据各自的特点来确定。

根据各组分的功能, 各组分的添加顺序如下: 首先对基胶和增粘剂进行配比 (提高粘接性能, 因此首先添加), 和均匀, 此时状态被称为混合物一; 然后对硫化剂进行配比 (硫化剂为固化剂, 第二个添加), 并将其加入到混合物一中, 和均匀, 此时状态被称为混合物二; 接着对促进剂进行配比 (促进剂开始促进密封剂的固化, 最后添加), 并将其加入到混合物二中, 和均匀, 此时和胶完毕。需要特别注意的是, 在和胶过程中, 一定要注意各组分混合均匀, 防止出现某一组分未混合均匀以及和胶过程中有气泡产生等问题的出现。

1.3 固化工艺研究

密封剂的固化过程是一个复杂的过程, 其间会发生一系列化学作用, 使其成为固体, 并且产生一定的强度。固化是获得良好粘接性能的关键过程。最终得到什么样的固化结果, 关键取决于使用者的需求。对于航天航空应用来说, 在使用过程中, 密封剂作为填充剂, 最好能达到固化零应力。要不然, 密封剂在固化过程中产生的内应力就会对支撑部件产生影响, 从而对光学件面形产生影响。所以我们选择固化工艺的目的就是为了尽量减少密封剂在粘接固化过程中产生的内应力。固化过程可以分为初固化 (凝胶阶段)、基本固化和后固化三部分。而固化过程的三要素包括温度、压力和时间。综合考虑工程中的时间要求、密封剂的特点和一般实验室具有的条件, 从可行性的角度出发, 结合成熟的工程经验和相关资料, 我们选择了常温常压初固化、常温常压基本固化、真空变温后固化这样一条固化工艺路线^[10]。

固化工艺的具体流程如下:

(1) 初固化: 室温 (20 ℃) 下, 固化 12 h。

(2) 基本固化: 室温 (20 ℃) 下, 通风, 固化 72 h。

(3) 真空变温后固化: 先抽真空至 1×10^{-3} pa, 再在真空环境下经 20 h 的温度循环后完成固化。

(4) 室温 (20 ℃) 下, 静置 24 h 后, 密封剂的固化完成。

2 试验验证及讨论

2.1 验证试验过程

本试验的目的是为了验证使用工艺的合理性, 通过对灌注密封剂的试验件进行偏转角度观测, 并经计算得出变形大小。具体过程如下: 用专用注胶器将密封剂填充到具有柔性结构的工装件中; 工装上的柔性槽为填充密封剂的空间 (设置柔性的目的是为了完全释放密封剂在固化过程中产生的内应力); 在柔性槽结构及其上方均安有小型平面反射镜; 通过莱卡经纬仪 (测量精度为 0.2") 测量小反射镜的偏转角度的变化, 以监视充入密封剂后柔性结构的变形情况, 并依据偏转角度的大小对比密封剂内应力的大小 (示意图见图 1)。图 2 所示为反射镜的编号。促进剂配比选择 0.5 (称为配比一) 和 0.6 (称为配比二) 两种配比, 而且均在这个试验件上采用相同的固化工艺, 同时进行试验。从初固化开始, 6 h 观察一次小平面镜的位置变化。

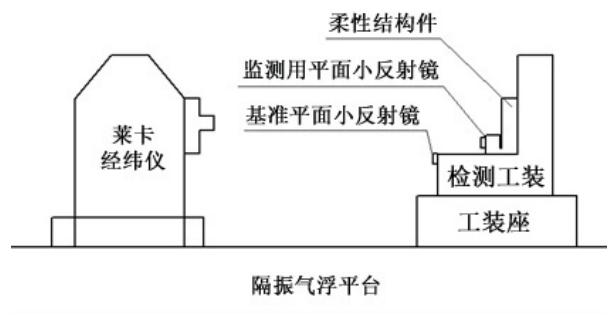


图 1 搭建的精密检测系统的示意图

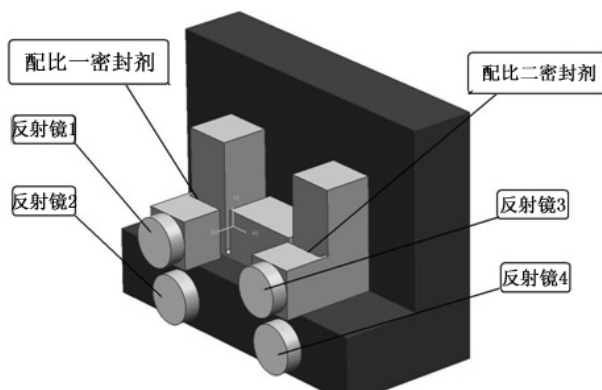


图 2 原理图

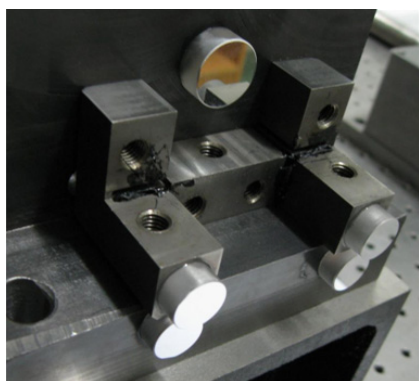


图 3 实物图

2.2 试验数据处理

依据光学指向指标要求，折算到柔性试验件中，最终变形量小于 0.05 mm 即为满足要求。对不同配比密封剂的 2 组数据进行处理，得出柔性工装件倾角随时间的变化曲线（胶自身的收缩特性发生作用，由体积收缩产生的内应力将柔性件拉伸变形，从而引起小平面反射镜角度发生变化）。

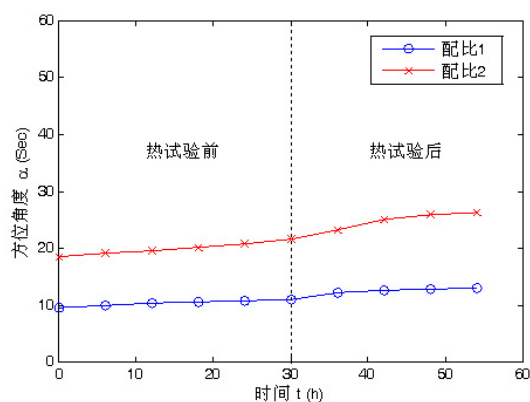


图 4 柔性工装件方位角度的变化曲线图

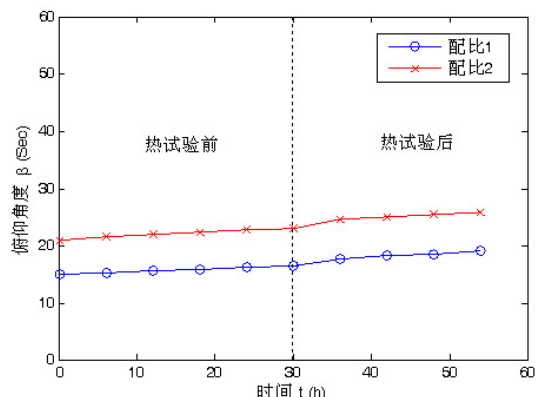


图 5 柔性工装件俯仰角度的变化曲线图

首先等精度直接测量结果数据分析^[11]，得出可信测量结果。图 4 和图 5 中的每个点代表间隔 6 h 读取一次，每个状态观测值读 5 个数值，取平均值。最终计算柔性件变形时取值为试验过程中的最大角度差值。

令 $\bar{x}_1$ 为初始时配比一的水平角度算数平均值， $\bar{x}_{10}$ 为试验结束时配比一的水平角度算数平均值； $\bar{y}_1$ 为初始时配比一的俯仰角度算数平均值， $\bar{y}_{10}$ 为试验结束时配比一的俯仰角度算数平均值； $\bar{x}'_1$ 为初始时配比二的水平角度算数平均值， $\bar{x}'_{10}$ 为试验结束时配比二的水平角度算数平均值； $\bar{y}'_1$ 为初始时配比二的俯仰角度算数平均值， $\bar{y}'_{10}$ 为试验结束时配比二的俯仰角度算数平均值，则

配比一的水平角度差值为

$$\alpha_1 = \bar{x}_{10} - \bar{x}_1 = 4.6''$$

配比一的俯仰角度差值为

$$\beta_1 = \bar{y}_{10} - \bar{y}_1 = 4.0''$$

配比二的水平角度差值为

$$\alpha_2 = \bar{x}'_{10} - \bar{x}'_1 = 7.3''$$

配比二的俯仰角度差值为

$$\beta_2 = \bar{y}'_{10} - \bar{y}'_1 = 5.8''$$

配比一的工装件变形值为

$$\delta_1 = \arccos(\cos \alpha_1 \times \cos \beta_1) \cdot l = 0.033 \text{ mm}$$

配比二的工装件变形值为

$$\delta_2 = \arccos(\cos \alpha_2 \times \cos \beta_2) \cdot l = 0.052 \text{ mm}$$

其中, l 为柔性工装件的悬臂端长度。 l 的实际测量值为 20 mm。

经计算, 变形量 δ_1 小于变形量 δ_2 , 说明胶组分配比的不同导致柔性工装件变形量的不同。配比一的变形量 δ_1 为 0.033 mm, 比柔性结构的变形量小, 满足使用要求。促进剂不同, 对硫化剂的催化作用也不同, 导致密封剂混合物在基本固化过程中的收缩速率不同。在配比一的密封剂的固化前期, 内应力得到了有效释放 (必须注意的是, 收缩应力的不是正比于整个固化过程的体积收缩率, 而是正比于失去流动性之后进一步固化所应发生的那部分体积收缩, 因为处于自由流动状态下的内应力可以释放出来^[12]); 在密封剂固化后期, 又应用了后固化的工艺手段, 使得内应力得以进一步释放。在本工艺路线的指导下, 密封剂的内应力释放得比较彻底, 达到了预期目标, 说明这是一条比较合理的工艺路线。

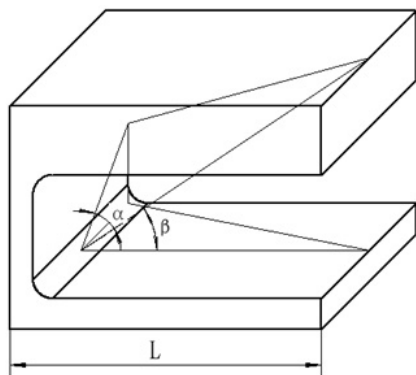


图6 柔性结构变形的结构示意图

3 结论

本文针对航天用四组分 XM-23 密封剂的使用工艺路线展开了研究。通过分析密封剂的各组分构成及功能, 合理选择了各组分质量配比, 并针对密封剂在航天中作为阻尼特性的应用对其固化工艺进行了研究。得出了一条比较理想

的可用于空间反射镜组件结构微应力密封的使用工艺路线, 即选择四组分按基胶: 硫化剂: 增粘剂: 促进剂质量配比为 100 : 7 : 1.5 : 0.5。固化工艺路线为常温常压初固化、常温常压基本固化、真空变温后固化这样一条完整的使用工艺路线。经过试验检验, 本工艺路线既能缩短密封剂的固化时间, 又能有效释放密封剂在固化过程中产生的内应力, 从而达到了空间项目中对密封剂微应力的使用要求。该工艺路线可以作为空间结构选用密封剂的工艺参考, 具有比较广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 蔺艳琴, 聂丽川, 刘若愚, 等. 高效防霉聚硫密封剂的研究 [J]. 材料工程, 2007, 25(7): 44-47.
- [2] 侯瑞祥. 光学仪器用胶现状与展望 [J]. 粘接, 1995, 6(2): 51-54.
- [3] 张利军, 肇研, 罗云烽, 等. 湿热循环对 CCF300/QY8911 复合材料界面性能的影响 [J]. 材料工程, 2012, 30(2): 25-49.
- [4] 郭平军, 梁国正, 张增平. 胶粘剂在航天工业中的应用 [J]. 中国胶粘剂, 2009, 18(3): 56-60.
- [5] John J H, Robert F P, Richard H E. 芯片粘接胶粘剂性能和应用指南 [J]. 中国集成电路, 2004, 58: 32-37.
- [6] 潘广萍, 吴松华, 柳莹, 等. 提高聚硫密封剂粘接性能的研究 [J]. 粘接, 2008, 29(1): 22-24.
- [7] 郑瑞琪. 胶层厚度对胶接性能的影响 [J]. 粘接, 1990, 11(14): 33-35.
- [8] Paul M, Alison N. Sensitivity Evaluation of Mounting Optics Using Elastomer and Bipod Flexures [C]. SPIE, 2003, 5176: 26-32.
- [9] 李广宇, 李子东, 袁素珍, 等. 胶粘与密封新技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [10] 刘强, 何欣. 反射镜用光学环氧胶粘接固化工艺研究 [J]. 机械设计与制造, 2011, 31(2): 118-120.
- [11] 马宏, 王金波. 误差理论及仪器精度 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 2007.
- [12] 游敏, 郑勇, 郑小玲, 等. 胶层厚度及固化工艺对湿态剥离强度的影响 [J]. 粘接, 1997, 18(3): 32-37.