

固体自润滑材料极端温度环境适应能力研究

桑瑞鹏¹ 周 晖¹ 温庆平¹ 金 俨² 郑 军¹

(1 兰州空间技术物理研究所表面工程技术国家级重点实验室,兰州 730000)

(2 中国空间技术研究院总体部,北京 100094)

文 摘 模拟月球表面极端高低温环境,对空间飞行器机构活动部件常用固体自润滑材料进行极端温度环境存贮实验。通过拉伸强度、压缩强度、弯曲强度、冲击强度、摩擦磨损等性能研究,评价固体自润滑材料在月面极端高低温环境下的生存适应能力。结果表明,两种典型空间用固体自润滑材料模拟三个月球日经历极端温度环境存储实验后,各项性能都未发生明显变化。

关键词 润滑,月面,极端温度,力学性能,摩擦

Adaptability of Solid Lubricant at Extreme Temperature

Sang Ruipeng¹ Zhou Hui¹ Wen Qingping¹ Jin Yan² Zheng Jun¹

(1 National Key Laboratory of Surface Engineering Technology, Lanzhou Space Technology Institute of Physics, Lanzhou 730000)

(2 Department of System Engineering, China Academy of Space Technology, Beijing 100094)

Abstract The extreme temperature adaptability of solid lubricant used in space components was investigated by simulating the temperature environments on the moon surface. The survival adaptability of solid lubricant was estimated through the tests of tensile properties, compressive properties, flexural properties, impact strength, friction and wear properties. Test results indicated that no obvious changes of performances of two typical solid lubricants occurred after 3 moon days storing in the extreme environments.

Key words Lubrication, Moon surface, Extreme temperature, Mechanical properties, Friction

0 引言

固体润滑材料由于在空间环境中具有自润滑、防冷焊、温度适应性强、空间质损小等特点,在空间飞行器机构活动部件中广泛应用^[1~4]。随着我国在空间探索领域研究的不断深入,后续在月球及深空探测项目中机构活动部件的应用工况与以往我国空间飞行器空间在轨应用工况有较大不同。尤其是在月球等深空探测过程中的极端高低温交变环境下,目前空间飞行器常用的固体自润滑材料未开展过类似的力学性能研究。本文针对固体自润滑材料后续应用工况^[5],开展模拟月面极端温度环境的适应能力研究,为固体自润滑材料在极端环境应用提供参考依据。

1 实验

1.1 材料

选用由兰州空间技术物理研究所研制的聚四氟乙烯(PTFE)基自润滑材料和聚酰亚胺(PA)基自润滑

材料。

1.2 实验过程

实验时采用温度冲击方式,即实验样品在高低温环境中快速转换以加严考核。低温环境温度为 -196°C ,高温环境温度为 130°C 。

为了比较三个月球日模拟极端温度环境存储前后固体自润滑材料性能变化过程,实验共安排三个温度循环,七个批次的性能测试。分别为存储实验前,每个月球日高低温存储结束后。存储实验温度及测试过程曲线如图1所示。

1.3 实验条件

固体自润滑材料实验条件分别参照 GB/T1040.2—2006 塑料拉伸性能的测定第二部分模塑和挤塑的实验条件、GB/T1041—92 塑料压缩性能实验方法、GB/T1043—93 硬质塑料简支梁冲击实验方法、GB/T9341—2000 塑料弯曲性能实验方法、

收稿日期:2009-06-19;修回日期:2009-07-27

作者简介:桑瑞鹏,1979年出生,硕士研究生,主要从事空间摩擦学研究。E-mail: spkk@163.com

GB3960—83 塑料滑动摩擦磨损实验方法。由于 PTFE 与 PI 在使用时对象不同,对 PTFE 分别进行拉伸强度、压缩强度和滑动摩擦性能测试,对 PI 分别进行

拉伸强度、压缩强度、冲击强度、弯曲强度和滑动摩擦性能测试。

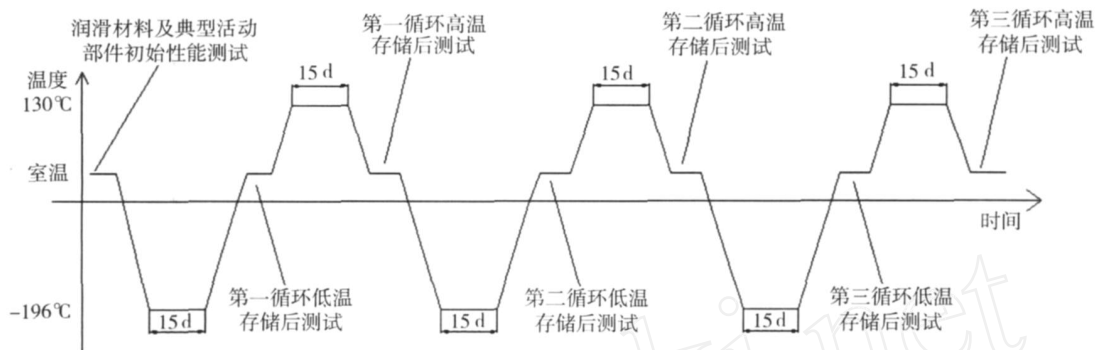


图 1 存储实验温度循环曲线

Fig 1 Temperature circle curve of storage test

2 结果分析

2.1 实验结果

经过月面三个月球日极端温度环境存储,在每个温度循环结束时对 PTFE、PI 基固体自润滑材料分别进行力学性能实验。测试结果如表 1、表 2 所示。

表 1 PTFE 基固体自润滑材料实验数据¹⁾

Tab 1 Experiment data of PTFE based solid lubricant

| 测试过程 | 拉伸强度 /MPa | 压缩强度 /MPa | 磨痕宽度 /mm | 摩擦因数 |
|-------|-----------|-----------|----------|------|
| 初始 | 26.0 | 26.6 | 6.88 | 0.21 |
| 1低 | 24.2 | 23.6 | 6.52 | 0.21 |
| 1低+1高 | 23.4 | 26.5 | 6.20 | 0.21 |
| 2低+1高 | 23.6 | 23.7 | 5.93 | 0.22 |
| 2低+2高 | 22.9 | 27.9 | 6.53 | 0.20 |
| 3低+2高 | 22.9 | 29.1 | 6.58 | 0.20 |
| 3低+3高 | 21.5 | 28.5 | 6.37 | 0.21 |

注:1)初始为实验件极端温度环境存储前测试,1低、1低+1高,.....分别代表经历一次低温后测试,一次低温加一次高温后测试,.....

表 2 PI 基固体自润滑材料实验数据

Tab 2 Experiment data of PI based solid lubricant

| 测试过程 | 拉伸强度 /MPa | 压缩强度 /MPa | 冲击强度 /kJ·m ⁻² | 弯曲强度 /MPa | 磨痕宽度 /mm | 摩擦系数 |
|-------|-----------|-----------|--------------------------|-----------|----------|------|
| 初始 | 105 | 192 | 54.0 | 133 | 5.80 | 0.42 |
| 1低 | 107 | 178 | 44.1 | 128 | 6.03 | 0.42 |
| 1低+1高 | 102 | 190 | 50.4 | 134 | 5.73 | 0.41 |
| 2低+1高 | 107 | 193 | 46.4 | 147 | 5.27 | 0.41 |
| 2低+2高 | 102 | 189 | 58.8 | 130 | 6.06 | 0.39 |
| 3低+2高 | 102 | 190 | 57.4 | 129 | 5.59 | 0.41 |
| 3低+3高 | 99.3 | 196 | 55.2 | 130 | 5.60 | 0.41 |

从表 1~表 2 可看出,固体自润滑材料在极端温度环境存储实验前后进行的七批次力学性能测试数据有一定偏差。其中 PTFE 拉伸强度、压缩强度测试数值区间分别为 21.5~26.0 MPa, 23.6~29.1 MPa, PI 拉伸、压缩、弯曲及冲击强度测试数值分别为 99.3~107.0 MPa, 177.9~195.6 MPa, 127.9~146.9 MPa, 44.1~58.8 kJ/m²。根据相关标准对力学性能测试的要求以及具体测试情况分析,造成测试差异的原因有:

(1) 固体自润滑材料力学性能测试的实验样件由于加工公差的原因,自身尺寸有一定差异;

(2) 固体自润滑材料力学性能测试装置通常由加载及力传感器构成,受到加载传感器及力传感器误差的限制;

(3) 固体自润滑材料进行力学性能测试时,装卡位置与装卡角度存在误差。

2.2 数据偏差分析

由于经历三个月球日极端温度环境存储前后七个批次固体自润滑材料力学性能强度测试数据呈不规则变化。为了验证测试数据偏差值是否由系统误差引起。比较三个月球日极端温度环境存储前后七个批次单次测试数据标准偏差与七批实验结果标准偏差见表 3~表 4 [其中七个批次单次测试数据标准偏差是指每次测试的 5 个样品 (冲击实验是 10 个样品) 根据 GB3360—82 计算得到的标准偏差。七批实验结果标准偏差是对每种样品三个月面极端温度环境存储前后进行测试得到的七个数值计算标准偏差]。分析比较后得到,七批实验结果标准偏差均小于七个批次单次测试数据标准偏差最大值。

表 3 固体自润滑材料七个批次
单次测试数据标准偏差

表 3 Test data of standard deviation for
each of 7 batches of lubricants

| 测试 过程 | PTFE | | PI | | | |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| | 拉伸强 度 /MPa | 压缩强 度 /MPa | 拉伸强 度 /MPa | 压缩强 度 /MPa | 弯曲强 度 /MPa | 冲击强度 /kJ·m ⁻² |
| 初始 | 1.71 | 1.45 | 7.67 | 4.05 | 11.2 | 10.4 |
| 1低 | 0.56 | 0.53 | 9.39 | 10.1 | 5.06 | 17.8 |
| 1低+1高 | 0.59 | 1.83 | 3.90 | 8.62 | 5.80 | 13.1 |
| 2低+1高 | 1.09 | 0.25 | 7.06 | 8.45 | 13.4 | 14.7 |
| 2低+2高 | 0.43 | 0.99 | 2.83 | 5.90 | 6.15 | 16.0 |
| 3低+2高 | 0.94 | 0.16 | 5.08 | 5.46 | 3.39 | 8.95 |
| 3低+3高 | 2.15 | 5.08 | 5.58 | 7.86 | 4.59 | 17.3 |

表 4 固体自润滑材料七批实验结果标准偏差
表 4 Test data of standard deviation for
7 batches of lubricants

| PTFE | | PI | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| 拉伸强 度 /MPa | 压缩强 度 /MPa | 拉伸强 度 /MPa | 压缩强 度 /MPa | 弯曲强 度 /MPa | 冲击强度 /kJ·m ⁻² |
| 1.38 | 2.20 | 2.79 | 5.64 | 6.59 | 5.56 |

分析数据结果可以看出,虽然固体自润滑材料力学性能在经历三个月面极端温度环境后测试数据有所偏差。由于七批次实验结果的标准偏差小于七个批次单次测试数据标准偏差最大值,系统误差在实验要求可接受范围内。

固体自润滑材料摩擦磨损实验后得到的测试数

据可以看出,摩擦因数重复性较好,波动基本在 ± 0.01 范围。磨痕宽度各次实验有一定偏差,PTFE 基固体自润滑材料磨痕宽度为 5.93~6.88 mm,PI 基固体自润滑材料的为 5.59~6.06 mm。

同批次固体自润滑材料样品测试时得到的三个磨痕宽度测试数值小于 1 mm 时就认为测试误差在允许值内。从固体自润滑材料磨痕宽度可以看出,两种固体自润滑材料磨痕宽度偏差均在 1 mm 之内,产生数据偏差的原因与固体自润滑材料拉伸、压缩、弯曲、冲击强度测试数据偏差的原因相同,主要由系统误差引起。

3 结论

通过对 PTFE、PI 两种固体自润滑材料模拟三个月球日进行极端温度环境存储实验可以得出:目前常用的固体自润滑材料经过模拟月面极端温度环境存储实验后,各项特性未发生变化。

参考文献

- 1 Kazuhisa Miyoshi Solid lubrication fundamentals and applications, NASA / TM - 2000 - 107249
- 2 Kazuhisa Miyoshi Solid lubricants and coatings for extreme environments: State-of-the-Art Survey. NASA / TM—2007 - 214668
- 3 赵云平,温庆平等. 纳米球形 WS₂颗粒对 PTFE基固体润滑粘结干膜的改性研究. 润滑与密封, 2008; 33(1): 63~67
- 4 康斌. 几种典型固体自润滑材料在载流摩擦条件下的性能. 润滑与密封, 2007; 29(04): 19~22
- 5 杨威锋. 固体自润滑材料及其研究趋势. 润滑与密封, 2007; 32(12): 118~122

(编辑 李洪泉)