

用于钛合金防微动磨损的干膜润滑剂性能研究

Properties Research of Solid Film Lubricant for Preventing Titanium Alloy From Fretting Wear

中国人民解放军第五七一三厂 卢建红 王彦岭 王静 陈礼顺

[摘要] 研究了干膜润滑的耐磨性、耐高温性、耐温度交变性、耐油性等性能,并与银镀层的摩擦磨损性能进行了对比研究。结果表明,干膜润滑剂具有低磨损量和摩擦系数,有较好的耐磨性,耐高温性、耐温度交变性、耐油性、失重等性能也较好,是一种综合性能优良的润滑减摩镀层。

关键词: 钛合金 微动磨损 干膜润滑剂

[ABSTRACT] The properties of solid film lubricant including resistance of wear, high temperature, temperature alternating and oil are researched and compared with the friction wear properties of silver coating. Experiments indicate that the graphite solid film lubricant has less wear value and lower friction coefficient, has good properties of resistance of wear, high temperature, temperature alternating and oil, and has loss weight properties. Therefore, the lubricant possesses excellent lubricating and reducing friction properties.

Keywords: Titanium alloy Fretting wear Solid film lubricant

微动是指在机械振动、疲劳载荷、电磁振动或热循环等交变载荷作用下,接触表面间发生的振幅极小的相对运动(位移幅度一般为微米量级),是关键零部件失效的主要原因之一。微动损伤可致使接触面间发生表面磨损,产生材料损失和构件尺寸变化,引起构件咬合、松动等,也可能加速裂纹的萌生与扩展,使构件的疲劳寿命大大降低,造成一些灾难性后果^[1-3]。由于微动磨损的作用,产生损伤裂纹,诱发了疲劳裂纹的早期萌生,大大降低了疲劳寿命,使钛合金的疲劳强度下降 66%。早期,利用电镀银的方法预防钛合金微动磨损,但在 60 年代发现了首例 Ti-7Al-4Mo 压气机盘与电镀银螺栓接触而产生开裂的事故,随后美空军材料实验室对 Ti-8Al-1Mo-1V 翼合的试验证实了钛合金固态银致脆(SSIE)的存在,并因此停止使用电

镀银处理压气机钛合金构件。作为解决微动磨损的对策与手段,干膜润滑剂是解决和预防钛合金微动磨损较为有效的方法,近年来,俄、英、美等国在航空发动机上的减磨、防粘处理已逐渐用涂覆干膜润滑涂层来代替镀银^[4-8]。

本课题针对钛合金微动磨损的防护,对石墨基干膜润滑剂的各种性能进行综合的研究和评价。

1 试验研究

1.1 涂层制备

选用中科院兰州物化所的石墨基干膜润滑剂,试样材料为 TC11 和 H62,用超声波清洗,干燥后喷涂,喷涂参数如下:喷涂介质为 99.99% 的 N₂;喷涂压力为 0.15~0.25MPa;喷嘴与试样喷枪角度为 70°~90°;喷嘴与试样距离为 15~25cm;喷涂厚度为 10μm。

将喷涂后的试样在室温下放置 2~3h,然后置于烘箱中升温固化,先至 150℃,保温 0.5h,继续升温至 200℃,保温 2h,然后,随炉自然冷却至室温。

银镀层制备按文献[9]制作,其中银镀层厚度为 6μm。

1.2 性能检测

本课题根据构件在机械装置中承受一定载荷作往复的循环运动,模拟采用润滑介质中双环粘着磨损

表 1 磨损仪转速表

挡位	转速/(r·min ⁻¹)	转换为线速度/(m·min ⁻¹)
1	370	37
2	550	55
3	1 100	110
4	1 970	197
5	2 930	293
6	5 880	588

研究其耐磨性能,其中上摩擦偶作为涂层考察对象,对比组为不涂任何涂层、镀银、涂石墨基干膜润滑剂。

仪器为 MPX-2000 型摩擦磨损仪,采用的润滑介质为 20 号润滑油,测试载荷 100~500N,测试速度见表 1,载荷 400N。

考虑到部分零件工作温度高达 300℃~400℃,涂层的耐高温和温度交变性也是考察涂层性能的重点之一,本试验采用试样用马弗炉加温后,观察润滑涂层表面的状态是否有裂纹、剥落、变软、变色,是否连续。同时,为了得到润滑涂层的综合性能,本课题还按有机涂层考察润滑涂层的耐油性、柔韧性、冲击强度和附着力等指标。

2 结果与讨论

2.1 涂层的摩擦性能

2.1.1 摩擦运转的外观及磨损率

转速为 1 970r/min,载荷为 400N,未施加任何减摩擦涂层的摩擦偶在运行至 23 000r 时,上下摩擦偶已咬死,可以看到明显的严重磨痕,并由于碎屑等作用,使上下摩擦偶剧烈摩擦出现磨坑,表明基体是软基金属,不施加耐磨涂层,是不能经受滑动摩擦的。同样条件下,银镀层摩擦偶累计运行 52 万转时(行程 5.2km)后,上摩擦偶有清晰的滑动痕迹,发生部分粘着和转移,下摩擦偶基体比较完整,但接触面镀层已被磨掉 60%以上,局部镀层已磨穿,说明在试验运转条件下,已接近镀层的有效寿命;石墨基干膜润滑涂层摩擦偶累计运行 52 万转后,上摩擦偶干膜润滑层基本完整,仅微量的滑动轨道内露出基体,润滑层保留 91%,并有清晰的滑动痕迹,没有发生粘着和转移,下摩擦偶基体完整,说明在试验运转条件下,镀层安全有效。

同时,在一定转数和载荷下,测试无润滑层、银镀层、干膜润滑涂层等 3 种摩擦偶的磨损量和摩擦系数,结果见表 2。由表 2 可知,没有减摩擦润滑镀层的摩

表 2 几种摩擦偶的磨损对比情况

摩擦偶 涂层	累计 转数	上环 失重/g	下环 失重/g	总失 重量/g	摩擦 系数
干膜润滑涂层	52 万	-0.014	-0.011	-0.025	0.089
银镀层	52 万	-0.020	-0.025	-0.045	0.119
无润滑层	2.3 万	—	—	—	0.134

擦偶,摩擦系数最大,带有减摩擦润滑镀层摩擦系数明显降低,以石墨基干膜润滑涂层摩擦偶的摩擦系数为最低,为无润滑层的 66.4%,为银镀层的 74.8%;摩擦偶的磨损量与其摩擦系数基本呈对应关系,即摩擦系数小,磨损量也少,试验中也以干膜润滑涂层摩擦偶磨损量为最低,其磨损量为银镀磨损量的 55.5%。

2.1.2 摩擦运转磨合情况

图 1 记录了无润滑层、银镀层、干膜润滑涂层 3 种摩擦副在载荷为 0.2MPa、转速为 2 930r/min 时,从启动到行程为 5km 时的摩擦系数变化情况。从图中可以看出,无润滑层、银镀层的摩擦副运行到 2km 时,其力矩趋于稳定,而干膜润滑涂层摩擦副运行到 0.8km 时,其力矩就趋于稳定。

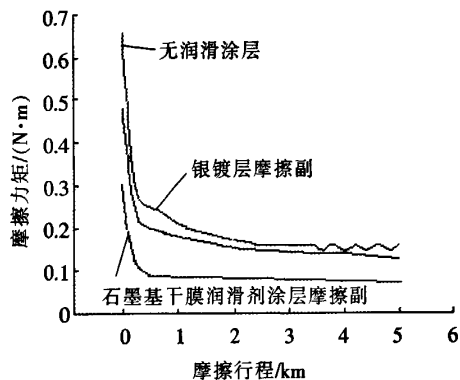


图 1 转速为 2 930r/min 时磨合期关系图

Fig.1 Relationship of run-in time with running speed of 2 930r/min

从以上结果可以看出,石墨基干膜润滑涂层较之于银镀层具有更加优异的减摩擦性能,这可能与石墨基相对较软,在摩擦介面中形成由减摩擦镀层组成的润滑微球,摩擦界面滑动摩擦改变为滚动摩擦与滑动摩擦的加成,其力矩就相对稳定;还与石墨的“复式苯环”六方排列的层状结构(图 2)有关,尽管石墨层内有强大共价键,但层与层间结合的是较弱的范德瓦尔斯键,且层间距大,层与层间易相对滑动,有很好的润滑效果^[10]。

江静华等分析认为^[11],对于给定的膜厚和摩擦副材质,可能存在某一合适的载荷范围而有助于润滑膜减摩擦效果的最佳发挥。本试验条件下,石墨基干膜润滑涂层在载荷大于 1.5MPa 时,使用石墨基干膜润滑涂层时即失效,因此,该润滑层的合适的载荷为 0.2~

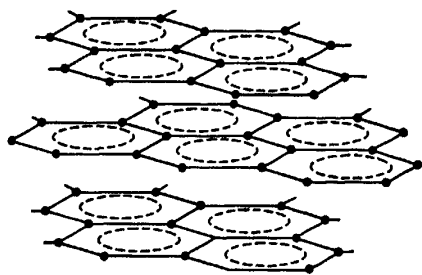


图2 石墨的层状结构

Fig.2 Layered architecture of graphite

1.2MPa,在此范围内石墨基干膜润滑涂层可发挥出润滑减摩效果。

2.2 涂层的耐高温性和耐温度交变性

将涂覆有石墨基干膜润滑涂层的钛合金试片在300℃下保温180h,取出自然冷却,观察试片表面状态,结果涂层依然保持原有的连续性,且无裂纹、剥落、变软、变色等现象;将试片400℃下保温10min,取出在室温下保持10min为一循环,共进行10循环试验,观察涂层表面未发现裂纹、变软等现象。这说明涂层耐高温性和耐温度交变性能良好。

2.3 涂层耐油性

将涂覆有石墨基干膜润滑涂层的钛合金试片分别在70℃的RP-3燃油和120℃的HH-2航空滑油中浸泡100h,观察涂层表面,未发现起泡、变软和脱落等现象,说明涂层耐油性良好。

2.4 高温失重性

将TC11钛合金试片涂覆20μm,面积为50cm²的石墨基干膜润滑涂层,在300±10℃的马弗炉内加热300h,用分析天平称量涂层加热前后的质量损失,试验结果见表3。

同时,检查试片外观无裂纹、剥落和变色等现象。

表3 几种摩擦偶的磨损对比情况

试样编号	加热前质量/g	加热后质量/g	失重/g
1	27.611 0	27.578 0	-0.033 0
2	27.515 1	27.484 9	-0.030 2
3	27.839 2	27.807 5	-0.031 7
平均	27.655 1	27.623 5	-0.031 6

这表明石墨基干膜润滑涂层成膜后,在300℃条件下长时间工作,质量损失小,性能稳定,能满足使用要求。

2.5 涂层其他性能

由于石墨基干膜润滑涂层采用有机树脂作粘结剂,本试验按有机涂层常规试验,测试了石墨基干膜润滑涂层的柔韧性、冲击强度和附着力等指标,结果涂层柔韧性≤2mm,弯曲后未产生网纹、裂纹及剥落等缺陷现象;涂层冲击强度,50cm未发生裂纹、皱纹及剥落现象;涂层附着力为2级。

3 结束语

涂覆石墨基干膜润滑剂是一种降低零件微动磨损的有效手段之一,本课题研究了干膜润滑的耐磨性、耐高温性、耐温度交变性、耐油性和高温失重性等性能,并与银镀层的摩擦磨损性能进行了对比研究,结果表明:干膜润滑剂具有低磨损量和摩擦系数,有较好的耐磨性,耐高温性、耐温度交变性、耐油性和高温失重性等性能也较好,是一种综合性能优良的润滑减摩镀层。

参 考 文 献

- [1] 朱旻昊,徐进,周仲荣.抗微动损伤的表面工程设计.中国表面工程,2007(12):5-9.
- [2] 周仲荣,Vincent L.微动磨损.北京:科学出版社,2002.
- [3] 周仲荣,朱旻昊.复合微动磨损.上海:上海交通大学出版社,2004.
- [4] 梁佑明,雷杰,沈桂琴,等.Ti-1023合金的微动疲劳及防护.材料工程,1995(1):15-16.
- [5] 黎平安.磷酸基干膜润滑涂层在钛合金构件上的应用.航空制造技术,2000(1):51-53.
- [6] 刘道新.TC4钛合金在慢速率形变下的银脆行为.稀有金属,1998,22(3):195-199.
- [7] 刘凤岭,李金挂,冯自修.钛合金表面技术的进展.腐蚀与防护,2001(2):54-57.
- [8] 葛新建,孙建林,范慧莉.粘结固体润滑膜的摩擦学特性研究.润滑与密封,2006(10):134-136.
- [9] 卢建红,旷亚非.铅锡合金镀层的润滑减摩性能研究.材料保护,2007(9):12-13.
- [10] 杨瑞成,蒋成禹,初福民.材料科学与工程导论.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002:92-93.
- [11] 江静华,蒋建清,马爱斌,等.固体润滑膜减摩效果与载荷对应关系的建模分析.中国表面工程,2008(4):44-49.

(责编 制卫)