

弹用涡喷发动机密封元件摩擦性能试验研究^{*}

古 乐¹, 王黎钦¹, 李秀娟¹, 齐毓霖¹, 刘艳梅², 刘振德²

(1. 哈尔滨工业大学 机械工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 航天机电集团公司 31 所, 北京 100074)

摘 要: 从添加剂和表面改性两个方面, 对某涡喷发动机密封部件摩擦副的摩擦性能进行了试验研究。结果表明 FORMULA 4-10 和 PG-7000 两种添加剂, 以及磷化和刷镀铜合金两种密封环表面改性方法, 能够改善密封元件的摩擦性能。

关键词: 涡轮喷气发动机; 金属密封件; 摩擦试验; 摩擦系数

中图分类号: V235.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4055 (2001) 06-0518-04

Experimental study on the tribological properties of missile turbojet engine seals

GU Le¹, WANG Li-qin¹, LI Xiu-juan¹, QI Yu-lin¹, LIU Yan-mei¹, LIU Zhen-de²

(1. Dept. of Mechanical Engineering, Harbin Inst of Technology, Harbin 150001 China;

2. The 31st Research Inst., Beijing, 100074 China)

Abstract: The tribological properties of a turbojet engine seals were tested using different additives and surface modification. The results showed that two kinds of additives, FORMULA 4-10 and PG-7000, and two kinds of surface modification, which include bonderite process and brush plating indium-copper alloy, could improve the tribological properties of the tested engine seals.

Key words: Turbojet engine; Metallic seal; Friction test; Coefficient of friction

1 引 言

涡喷发动机密封部件的可靠工作是确保发动机正常工作的重要环节, 如何有效地减少摩擦磨损, 降低滑油消耗, 提高润滑性能成为当前研究的重要课题。某涡喷发动机工作在高转速、油气压综合作用的条件下, 采用涨圈旋转动密封^[1]。由于工作条件苛刻, 密封元件摩擦副间易发生严重磨损。本文利用添加剂和表面改性两种提高摩擦副抗磨减摩性能的有效手段^[2], 结合该涡喷发动机密封部件工作情况进行了常规和模拟实验台架实验。结果表明有两种添加剂和两种改性方法能起到改善密封元件摩擦性能的作用。

2 试验装置、试样及试验条件

2.1 添加剂试验

在自制往复式摩擦磨损实验机上考核 4 种添加

剂对于润滑油极压性能的影响, 然后在 MPX200 型环-环式标准摩擦磨损实验机上考核添加剂对摩擦副的减摩性能。试验中基础润滑油均为 4106[#] 航空合成润滑油。

往复实验机上试样为 $\phi 12.7$ GCr15 钢球, 下试样为 GCr15 钢条, 下试样作往复移动。试验载荷 22 N, 往复行程 100 mm, 往复频率为 $180 \text{ min}^{-1} \sim 200 \text{ min}^{-1}$ 。往复次数由自动计数装置记录, 每 1500 次测量钢球的磨痕直径直至磨痕稳定。初始温度为 18°C 。

MPX200 实验机试样为由密封部件摩擦副材料制成的试环, 上试环为 K418 合金 $\phi 34/\phi 20 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$, 下试环为铸铁密封环 $\phi 30/\phi 27 \text{ mm} \times 2.48 \text{ mm}$ 。上环在电机带动下旋转, 转速 $1\,100 \text{ r/min}$; 通过杠杆加载, 试验载荷分别为 50 N, 70 N, 90 N。上下试样的摩擦面浸没在润滑油中, 初始温度为 18°C 。由于磨损量很小, 不可比, 试验中只记录其稳定摩擦系数。

* 收稿日期: 2001-04-18; 修订日期: 2001-06-19。

作者简介: 古 乐 (1975—), 男, 硕士, 讲师, 研究领域为摩擦学、陶瓷轴承。

选用四种添加剂: JB; ④FORMULA4-10; ④PC-7000; WH。添加的体积百分数除 PC-7000 为 7% 外, 其余均为 5%。

2.2 表面改性试验

仍采用 MP×200 试验机进行试验, 试验条件与添加剂试验相同。将下试环即铸铁密封环进行表面改性。改性方式分别为磷化处理 (P/Iron)、表面热喷涂特氟隆 (Teflon/Iron) 和刷镀 InCu 合金 (InCu/Iron)。

为模拟发动机密封部件处的结构设计, 台架试验装置增加了高速非接触式径向迷宫密封。其中筒轴试验件和涡轮转子试验件处共装有 3 个密封环, 试验中密封环依靠外界气压使其端面紧贴在与其配伍试验件环槽壁面上而起密封作用, 正常工作时密封面间有润滑油膜存在。本台架试验中主轴工作转速为 28 500 r/min, 密封环非工作侧面气压 4 MPa, 润滑油腔压力 0.18 MPa~0.2 MPa, 进油温度 80 ℃。

3 试验结果与讨论

3.1 添加剂对密封元件摩擦性能的影响

添加剂对润滑油的抗磨性能的影响可由其极压性来反映。通过检验润滑油的极压值(载荷与稳定磨痕面积之比)来比较, 极压值越高则耐磨性能越好^[3]。在往复式摩擦磨损试验机上, 4106[#] 油及加入 4 种添加剂后的磨痕曲线如图 1 所示。从图中可以看出, 4

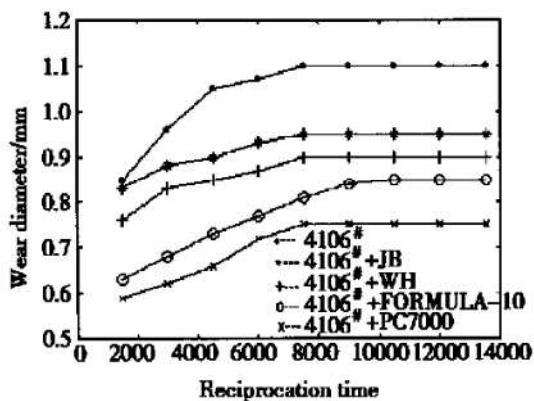


Fig. 1 Effect of additive on antiwear property of the basic oil

种添加剂均能提高基础油的抗磨性能。其中效果最好的是 PC-7000, 极压值为 4.68 MPa, 其曲线平缓且较快达到稳定值, 极压值高; 以下依次为 FORMULA4-10、WH 和 JB, 极压值分别为 3.97 MPa、3.46 MPa 和 2.98 MPa。而不加入添加剂时曲线陡峭, 极压值低, 为 2.32 MPa, 磨损最快。加入添加剂与不加入添加剂相比极压值依次提高 102%, 71.6%, 49.4%, 28.6%。

在环-环式摩擦磨损试验机上, 密封元件摩擦副在不同润滑油添加剂下实验结果的曲线如图 2 所示, 结果表明 4 种添加剂均能降低密封元件摩擦副的摩

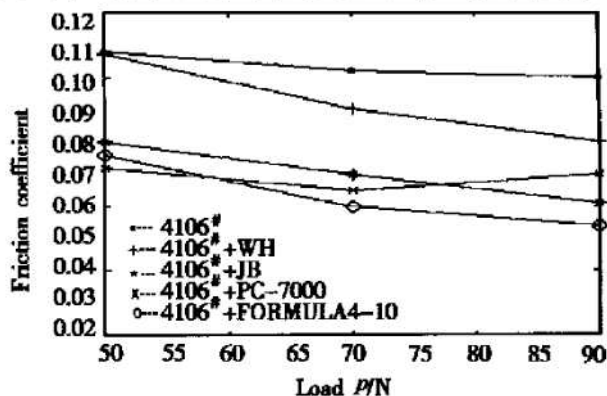


Fig. 2 Effect of additive on friction coefficient of seals component

擦系数, 其中 FORMULA4-10 和 PC-7000 效果较好。试验中润滑油浸没摩擦表面, 但摩擦副是平面接触。在静止和低速运转情况下, 油膜难以承载; 而在高速运转下润滑油在离心力的作用下甩向油杯壁面后又被挡, 在油杯中形成涡流状流动, 在接触面处油膜仍然难以完全承载。因此摩擦表面存在微凸体相互接触, 处于边界摩擦状态。其摩擦性能取决于摩擦表面间润滑膜的结构和性质。而 4 种添加剂均为极压型添加剂, 含有 P、S 等极性元素, 能在金属表面通过化学吸附或化学反应作用, 形成软质膜层, 从而起到抗磨减摩作用。而对该摩擦副, 在 4106[#] 基础油中 FORMULA4-10 和 PC-7000 更易生成化学反应膜, 其抗磨减摩效果较为显著。

3.2 表面改性对密封元件摩擦性能的影响

改性后 4 种摩擦副摩擦系数随时间变化计算机实时记录曲线如图 3 所示。从图中可以看出, 摩擦系数数值均比较稳定, 未改性原始环 (摩擦副 1) 为

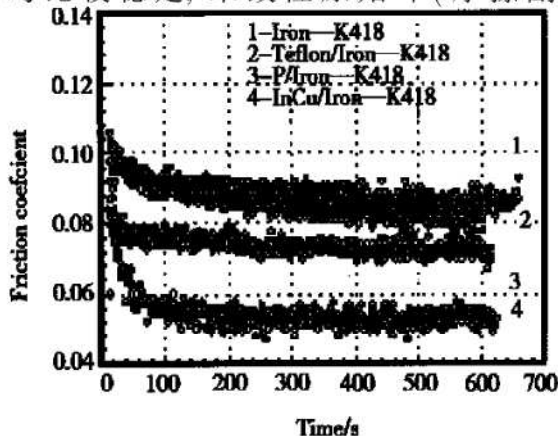


Fig. 3 Effect of surface modification on friction coefficient of seals component

0.10~0.09, 表面喷涂Teflon环(摩擦副2)为0.10~0.085, 磷化环(摩擦副3)为0.08~0.07, InCu合金环(摩擦副4)约为0.05。

在台架实验装置上, 分别考核磷化环、表面喷涂Teflon环和InCu合金环。由于3处密封环工作条件并不完全相同, 磨损情况也不一样。试验时每次在3处均采用相同材料密封环, 而取涡轮转子试验件处密封环磨损情况相比较。磷化环在工作转速下经考核195min, 试验前后表面金相组织照片(240倍)如图4(a), (b)所示, 端面平均磨损量为70 μm ; InCu合金环在经考核187 min, 试验前后表面金相组织照片(240倍)如图5(a), (b)所示, 其端面平均磨损量为30 μm 。而表面喷涂Teflon环在考核过程中30 min后就出现剧烈摩擦, 导致实验控制柜因过载保护而自动停车, 分解后发现密封环表面已成棉絮状(如图6), 而其配副筒轴表面被拔丝(如图7)。

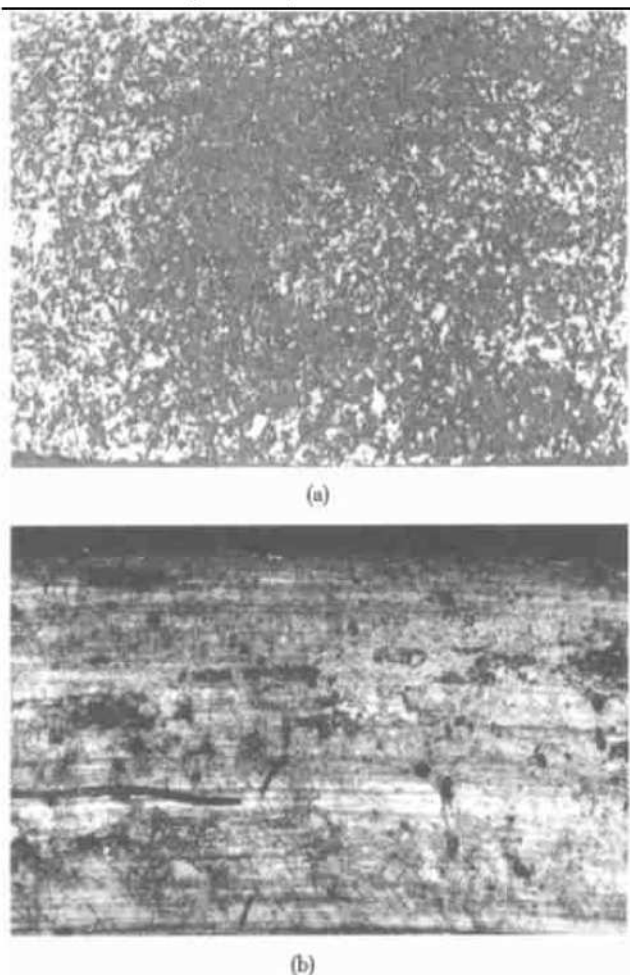


Fig. 4 Surface metallographic of phosphatized seals before testing and after testing ($\times 240$)

(a) Before testing; (b) After testing

磷化环表面为磷酸盐膜层, 从图4(a)中可见其为多孔的晶体结构, 且在密封环表面分布均匀。该膜

层具有良好的附着力, 能使润滑剂粘附在其表面上, 润滑性能好, 同时还可以缩短磨合期^[4]。而刷镀InCu合金后, In和Cu作为软金属在密封环表层内均匀分布, 如图5(a), 在摩擦过程中往偶件表面转移并向内部渗透, 使摩擦副本体材料被隔离, 从而起到减摩抗磨效果^[4]。试验后磷化环和InCu合金环金相照片分别如图4(b)和图5(b)所示, 表面虽已发生较大磨损但表面平整, 局部有沟痕或缺陷存在, 仍然可继续使用。而表面喷涂Teflon环表层为PTFE组织, 原本具有良好减摩作用, 但从环-环试验中已发现摩擦系数相对磷化环和InCu合金环要高, 而台架试验很短时间中表面层已破坏, 且严重破坏配伍零件, 说明高温热喷涂可能已改变PTFE聚合物的分子结构, 使其性质发生改变而不能起减摩抗磨作用^[5]。

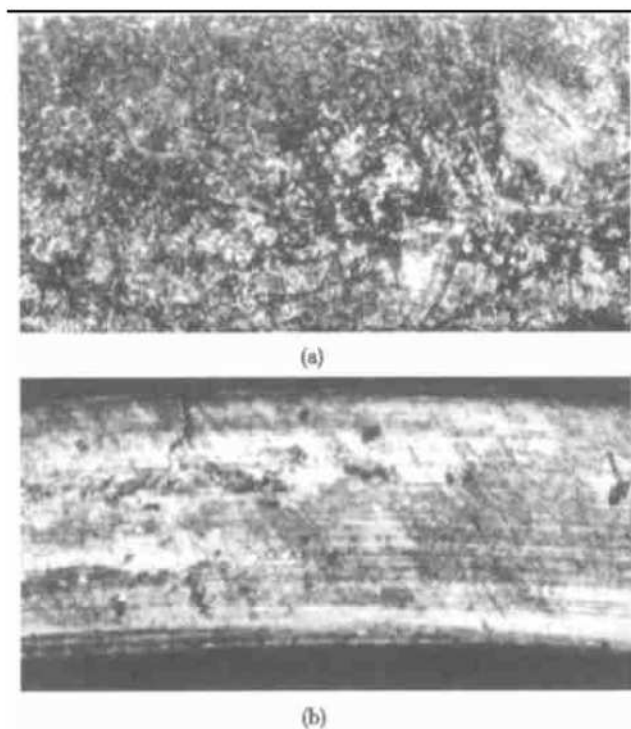


Fig. 5 Surface metallographic of InCu alloy seals before testing and after testing ($\times 240$)

(a) Before testing; (b) After testing

4 结 论

(1) 添加剂 FORMULA4-10 和 PC-7000 能够改善4106[#]基础油的抗磨性能且能降低密封元件摩擦副的摩擦系数;

(2) 密封环表面磷化处理和刷镀InCu合金均能够改善密封元件摩擦副的抗磨减摩性能, 且刷镀InCu合金效果更好;



Fig. 6 Seals after surface spray teflon

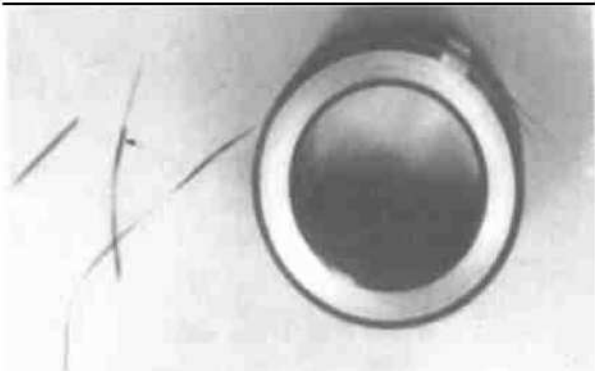


Fig. 7 Wire-like material from the hollow shaft after test

(3) 密封环表面热喷涂 Teflon 不能改善密封元件摩擦副的摩擦状况, 反而可能使之恶劣。

参考文献:

[1] 刘艳梅, 孙 扬, 宋鸿达. 某涡喷发动机密封环研制[J]. 推进技术, 1999, 20(6).

[2] Leefe S E, Hobson R M and Nau B S An experimental study of high speed mechanical seal stability[J]. Lubrication Engineering, 1994, 50(2): 173~ 181.

[3] 王公应. 极压抗磨添加剂作用机理[J]. 润滑与密封, 1990, 30(6): 63~ 65.

[4] 表面处理工艺手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1991: 286~ 289.

[5] 李同生, 孙守镁, 胡廷永, 等. 聚四氟乙烯磨损机理的探讨[J]. 摩擦学学报, 1992, 12(3): 222~ 232.

(编辑: 盛汉泉)

简 讯

致谢 2001 年度审稿专家

2001 年度为《推进技术》审稿的专家与学者共有 83 名(按姓氏拼音顺序排列如下)。他们学术判断力强, 学风严谨, 认真负责, 为《推进技术》的学术、技术水平的不断提高作出了贡献, 《推进技术》编委会与编辑部谨致深深的谢意。

蔡国飙	蔡体敏	蔡元虎	程惠尔	崔海涛	戴耀松	董志锐	杜 磊
段运源	樊思齐	冯 青	冯文澜	傅惠民	高德平	高宗强	葛 宁
顾炎武	海锦涛	韩小云	何洪庆	胡 骏	胡平信	胡永强	黄崇锡
黄熙君	吉洪湖	蹇泽群	蒋浩康	姜宗林	金世学	李 春	李 锋
李其汉	李上文	李疏芬	梁国柱	林瑞森	林 涛	凌文辉	刘红军
刘敬华	刘卫东	刘兴洲	刘勇琼	马斌捷	马继华	马智博	米镇涛
孟庆明	庞重义	蒲远远	乔志德	瞿章华	单 鹏	史新兴	司徒明
苏杰先	孙健国	谭惠民	汤叔平	汤中权	唐汉祥	王伯羲	王承尧
王惠玉	王家骅	王 健	王如根	王 强	王振国	汪南豪	吴汉基
吴洪鳌	席 光	向红军	谢光华	邢耀国	徐 旭	严传俊	杨 栋
杨尔辅	叶中元	于守志	袁 宁	袁 新	曾庆福	张宝炯	张 津
张继桐	张堃元	张 平	张青藩	张绍基	张振家	张振鹏	张正科
赵伯华	赵凤起	赵建荣	周源泉	周钟灵	朱梓根	庄毓南	