

金属陶瓷润滑油添加剂对钢-钢摩擦副 磨损行为的影响及其铁谱验证

顾艳红¹, 田 斌², 岳 文¹, 吕建国¹, 王成彪¹, 郭凤炜³,

(1. 中国地质大学(北京) 工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国矿业大学(北京) 材料系, 北京 100083; 3. 北京埃勒维斯科技发展有限公司 北京 100084)

摘 要: 研究了一种以羟基硅酸铝为主的金属陶瓷润滑油添加剂对钢铁摩擦副磨损行为的影响, 并用铁谱分析进行了验证。研究结果表明本添加剂具有明显的减磨作用和良好的磨损修复功能。加入添加剂后铁谱分析中的磨损烈度指数和磨粒浓度均随磨损过程呈下降趋势, 提示了修复功能的机理可能是磨粒重返磨损表面。实际发动机润滑油的铁谱分析与试验机的分析结果一致。

关键词: 钢铁摩擦副; 金属陶瓷添加剂; 润滑油添加剂; 摩擦磨损; 铁谱分析

中图分类号: TH117

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2005)01-0016-04

Effect of a Cermet Additive on the Wear Behavior of Steel-on-steel Friction Pair and Ferrographic Verification

GU Yan-hong¹, TIAN Bin², YUE Wen¹, LU Jian-guo¹, WANG Cheng-biao¹, GUO Feng-wei³

(1. School of engineering and technology, China University of Geosciences, Beijing 100083; 2. Material Department, China University of Mining & Technology, Beijing 100083; 3. Beijing PBC Science & Technology Development CO., LTD Beijing 100085)

Abstract: The effect of a cermet additive, whose main composition is $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$, on the wear behavior of steel-on-steel friction pair was investigated on a pin-on-disk sliding friction and wear tester. The result was verified by the ferrographic analysis. It was found that this cermet additive in 30# engine oil showed obvious anti-wear behavior, and good repairing function. After the additive was added to the engine oil, both severity of wear index and wear particle concentration in ferrographic analysis decreased with wear time. It was found that the repairing mechanism is likely to be that wear particles were returned to the wear surface. Moreover, the ferrographic analysis result for the practical engine was in good agreement with that for the tester.

Key words: steel-steel friction pair; cermet additive; lubricating oil additive; friction and wear; ferrographic analysis

0 引 言

降低材料的磨损一直是人们不懈的追求, 为此几十年以来已经出现了大量耐磨材料的研究, 表面处理技术的改进, 以及润滑技术的发展^[1]。特别是在减摩抗磨添加剂方面, 由于其简便高效, 而倍受关注, 从各种传统抗磨剂, 到近年来兴起的纳米添加剂^[2,3]的研究方兴未艾, 正向着环保高效的方向发展^[4,5], 并已取得很大成绩, 如已经有添加剂可以在一段时间内在无冷却水或无润滑油的情况下保证

汽车发动机正常运行的研究^[6,7]和报道。

金属陶瓷添加剂是一种新型的润滑油添加剂, 由于其具有明显的减磨与磨损修复功能, 文中针对这种硅酸铝基的添加剂, 在滑动磨损试验机上对钢摩擦副的磨损行为进行了初步的研究, 并采用铁谱分析方法对试验机和实际轿车发动机运行过程中的油样进行了分析验证。

1 试验研究方法

1.1 金属陶瓷添加剂的成分与加入量

添加剂的主要成分为 $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$, 另有氧

收稿日期: 2004-10-09; 修回日期: 2004-11-22

作者简介: 顾艳红(1977-), 女(汉), 吉林榆树人, 博士研究生。

化物催化剂与其它添加剂。合成的添加剂成品在 30#机油中的加入量为 0.8 %。

1.2 摩擦磨损试验机与试样

采用自制的销盘式 GWL-1000 型摩擦磨损试验机。上试样为固定的圆柱销, 横向放置, 与下试样呈线接触, 材料为 45#钢, 尺寸为 $\phi 12.7 \times 8$, 经调质处理, 硬度 450 HV; 下试样为转动的圆盘, 尺寸 $\phi 60 \times 7$, 材料也为 45#钢, 经调质处理, 硬度 250 HV。通过拉力传感器施加接触载荷, 采用循环滴注式润滑, 滴注速度为 3 滴/s。摩擦力数据由数据采集系统和计算机全程监控; 磨损量采用精度为 0.1 mg 的光电天平对试验后经超声波清洗的试样进行失重测量。

1.3 试验方法

摩擦磨损试验参数为: 转速保持 450 r/min 不变, 载荷固定在 15 kg, 线速度为 0.99 m/s。分两组试验: 第 1 组不加添加剂运行; 第 2 组加入添加剂; 浓度为 0.8 %。每 6 h 停机对试样进行一次磨损量测定, 每 12 h 从试验机油杯出口处采集一次油样 20 ml, 供铁谱分析用。铁谱仪型号为 ZTP-XIR。运行 60 h (行程 213.8) 后, 对试样的磨损量变化和油样磨粒变化进行了对比分析。

2 试验结果与讨论

2.1 磨损量的变化

图 1 所示为两组圆盘试样 60 h 累计磨损量的变化对比。

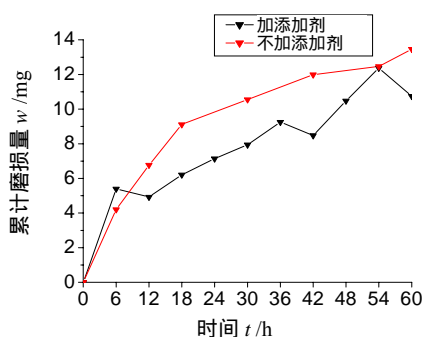


图 1 两组圆盘试样累计磨损量随时间变化曲线

Fig. 1 Variation of the accumulative weight loss with time

图 2 表示圆盘试样在 60 h 磨损过程中瞬时磨损量的变化。

从图 1 和图 2 可以看出, 润滑油中加入添加

剂后, 圆盘的磨损量明显减少, 表明所用润滑油具有一定的减磨效果。特别有趣的是, 加入添加剂

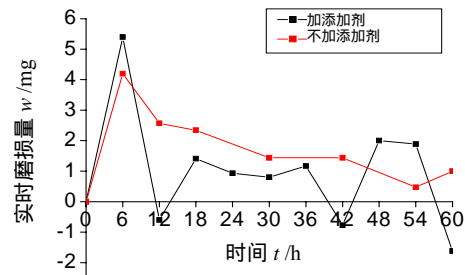


图 2 两组圆盘试样瞬时磨损量随时间变化曲线

Fig. 2 Variation of the real-time weight loss with time

后, 在 12、42 和 60 h 处, 出现了负磨损, 即磨损后圆盘的质量反而有所上升, 而且出现负磨损的时间间隔也有逐渐缩短的趋势, 这说明出现了磨损被修复的现象, 这种现象是用其它润滑剂从未见过的, 为了肯定这个试验结果, 在重复进行相同试验后, 均发现在加入本添加剂后, 瞬时磨损量总是在正负值之间摆动。可以想象, 这种修复过程必然是一个动态过程, 即一边被磨损, 一边被修复, 当修复量大于磨损量时, 就会出现负磨损, 反之则是正磨损。另外, 也可以看出, 磨损被修复, 绝不是瞬时完成的, 而是需要一个过程。试验只进行了 60 h, 可能修复过程还远未完成, 如果进一步延长试验时间, 可能会获得更好的修复效果, 这是今后需要继续进行的研究工作。

2.2 试验机油样的铁谱分析

为了验证本添加剂的修复功能, 作者拟从润滑油中磨粒数量的变化进一步找出一些证据。

图 3 所示为含添加剂润滑油铁谱试验中的磨损烈度指数与运行时间的关系。图中 I_s (Severity of

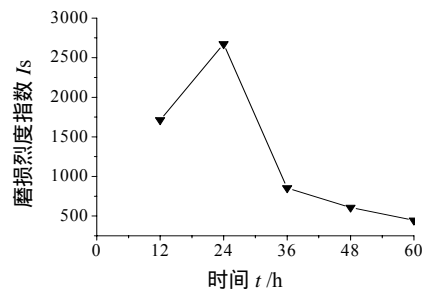


图 3 含添加剂润滑油铁谱试验磨损烈度指数与运行时间的关系

Fig. 3 Variation of severity of wear index with running time

wear index)代表磨损烈度指数, $I_s = D_l(D_l - D_s)$, 其中 D_l 代表大磨粒浓度, D_s 代表小磨粒浓度, I_s 综合反映了磨损速率和磨损量的大小, 是铁谱技术中最常用的判断指标。

从图3可以看到, 在经过前12 h的剧烈磨损后, 磨损开始变得逐渐缓和, 到试验结束时, 磨损的剧烈程度已经得到很好改善。这个结果也证明了添加剂的修复功能已经发生作用。

图4表示了铁谱试验得到的试验过程中相应

几个时间段的铁谱照片, 也可以看到润滑油中的磨粒数量随时间延长逐渐在减少。

表1表示铁谱片中微粒情况的详细说明。表1与图4的试验结果与图3基本一致。

从铁谱分析结果可以判断, 润滑油中磨粒的逐渐减少, 一方面表明, 磨损的剧烈程度在下降, 同时也提供了一个重要启示, 即磨下来的磨粒到那里去了? 在封闭的润滑油系统中, 磨粒不可能自然消失, 它们很可能重新返回到磨损表面, 这就是出现

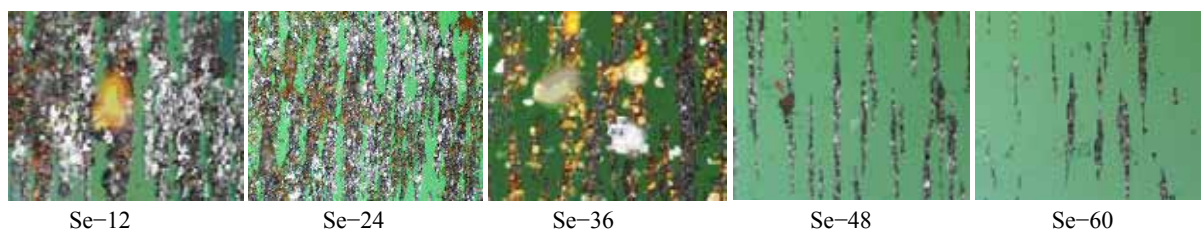


图4 润滑油铁谱片照片

Fig.4 Ferrographic photo of lubricating oil

表1 铁谱观察微粒情况统计

Table 1 Wear particle analysis of ferrograms

NO.	Se-12	Se-24	Se-36	Se-48	Se-60
铁谱观察 微粒情况	大量 Fe_2O_3 磨粒, 切削磨粒, 严重滑动磨损磨粒, 尤其是大磨粒较多, 磨损进入磨合期	摩擦加剧, 温度升高, 磨粒表面出现蓝色回火色, 磨粒数量仍较高, 磨损剧烈	大量 Fe_2O_3 磨粒, 一个大的铝片磨粒和透明磨粒, 磨粒数量变化不大, 磨损较稳定	Fe_3O_4 为主的氧化铁磨粒, 大磨粒数量减少, 尺寸减小, 磨损剧烈程度下降	一个剥落状大磨粒, 小磨粒数量增加, 磨损程度缓和

负磨损的一个很有力的左证。当然, 磨粒的返回和修复过程尚需进一步证实, 同时它也涉及到很复杂的摩擦学, 材料科学和表面物理化学的理论, 需要进行大量深入的分析研究工作。

3 小轿车发动机润滑油的铁谱分析验证

为了在实际的机械设备中验证以上的试验结果, 作者选择了一辆小轿车(京 H68675)的发动机, 润滑油中加入了 0.45 % 的同样金属陶瓷添加剂, 发动机油样添加和采集方案如下: 起始阶段发动机润滑油中不添加任何添加剂, 运行 450 km 后, 开始加入金属陶瓷添加剂, 运行 600 km 后抽取一次油样, 然后在 1 600、3 600 和 6 600 km 时再分别取一次油样。油样编号为: H68675-450、H68675-600、H68675-1 600、H68675-3 600 和 H68675-6 600。

图5所示为发动机摩擦副磨损烈度指数随行驶里程的变化。

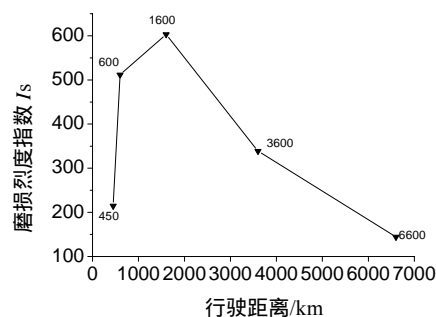


图5 发动机摩擦副磨损烈度指数与行驶距离的关系

Fig.5 Variation of severity of wear index with running distance

从图5可见, 实际发动机磨损烈度指数的变化规律与试验机的测试结果完全一致, 而且磨损烈度

下降的趋势更为明显,这说明汽车行驶里程所代表的摩擦副运行距离远比模拟试验机的要长,而且实际的摩擦副运行工况也很难用试验机完全模拟。

下面图 6 是不同油样铁谱片中的磨粒照片。表 2 是其统计说明。

表 2 可以看出,在加入添加剂后的前期,如 600 和 1 600 km 处的油样显示,因疲劳剥落的磨粒具有

层片状,同时会产生粒度极小的球形颗粒,表明发生了较严重的疲劳磨损。而在其后的取样中,磨粒浓度明显降低,而且尺寸减少。在 600 km 处磨粒最大尺寸先增至 40 μm,到 3 600 km 处,磨粒最大尺寸降至 25 μm,到 6 600km 处最大磨粒尺寸进一步降到了 10 μm,证明金属陶瓷添加剂的初始研磨抛光作用使磨粒逐渐得到了细化。

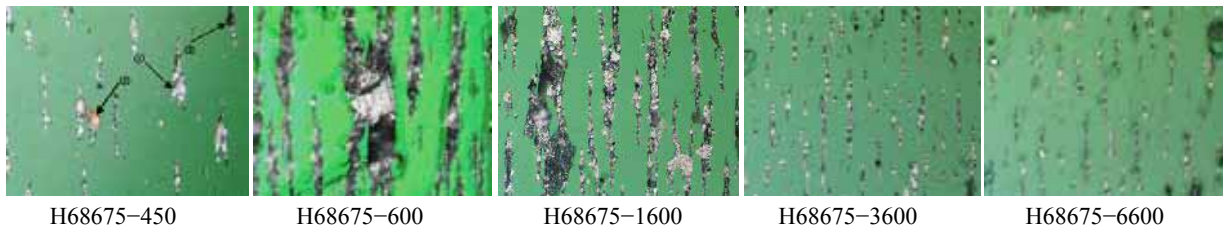


图 6 轿车 H68675 发动机润滑油铁谱分析照片

Fig.6 Ferrographic photo of the lubricating oil in the H68675car engine

表 2 铁谱观察微粒情况统计

Table 2 Wear particle analysis of ferrograms

NO.	H68675-450	H68675-600	H68675-1600	H68675-3600	H68675-6600
铁谱观察微粒情况	汽车运行 450 km后取样:磨粒数量中等,氧化物数量密集。(磨合期的铁系磨粒、Fe ₂ O ₃ 团粒和黑色 Fe ₃ O ₄ 磨粒)	汽车运行 600 km后取样:磨粒浓度高,磨损较剧烈,金属磨粒中等量,受异常磨损产生热量的影响,铜粒各部分不同程度发生氧化呈现回火色彩斑,其突出的边缘部分易深度氧化而呈蓝色 ^[10] 。	汽车运行 1600 km 后取样:磨粒浓度稍有降低,金属磨粒数量中等,氧化铁磨粒较大(高温生成),表面粗糙。	汽车运行 3600 km 后取样:金属磨粒数量明显减少,尺寸不大,伴有少量氧化物。	汽车运行 6600 km 后取样:金属磨粒数量很少,尺寸小,伴有微量氧化物。
最大微粒尺寸/μm	12	40	32	25	10

4 结 论

- (1) 研究的金属陶瓷添加剂具有明显的减磨作用,并显示了良好的磨损修复功能。
- (2) 润滑油样的铁谱分析结果表明,加入添加剂后磨损烈度指数和磨粒浓度均呈下降趋势,证明了本添加剂的减磨作用,并提示了修复功能的可能机理是磨粒重返磨损表面。
- (3) 实际发动机的润滑油铁谱分析与试验机的分析结果一致,并表明实际的工况更适合于发挥添加剂的作用。

参考文献:

[1] 刘家浚. 材料磨损原理及其耐磨性 [M]. 清华大学出版社, 1993.

[2] 蒋书运. 几种油性剂和极压抗磨剂对T8 钢/Al₂O₃摩擦磨损性能的影响 [J]. 摩擦学学报,2004, 24(1): 29- 32.

[3] 党鸿辛, 赵彦保, 张治军. 纳米微粒添加剂的摩擦学性能研究 [J]. 摩擦学学报, 2004,24(2): 185-187.

[4] 郑发正, 孙霞, 李新年. 环保型润滑剂发展综述 [J]. 润滑与密封, 2004(3):124-126.

[5] 马亚军, 赵晚成, 李生华, 等. 二烷基二硫代甲酸钼 (MoDTC)摩擦改性剂对 GF-3 等级全配方发动机油摩擦学性能的影响 [J]. 润滑与密封, 2004(4):55-57.

(下转第 23 页)

- [6] 姚广涛, 姚春德, 刘爱诗. 减磨型机油添加剂在汽车发动机无水状态下运行作用效果的研究 [J]. 润滑与密封, 2004(4):53-54.
- [7] 张正业, 杨鹤, 李生华, 等. 金属磨损自修复剂在 DF 型铁路机车柴油机上的应用研究 [J]. 润滑与密封, (4):75-76,80.
- [8] 金元生. 铁谱技术及在磨损研究中的应用 [M]. 机械工业出版社, 1991.
- [9] 张鄂. 铁谱技术及其工业应用 [M]. 西安交通大学出版社, 2001.
- [10] 杨其明. 磨粒分析 - 磨粒图谱与铁谱技术 [M]. 中国铁道出版社, 2002

作者地址: 北京海淀区学院路 29 号 100083

Tel: (010)81988101(小灵通); 13810781318

E-mail: gu_yanhong@163.com