

MgO/SiO₂ 复合纳米添加剂的自修复性能试验研究*

谢学兵 陈国需 孙霞 李华峰

(解放军后勤工程学院油料应用与管理工程系 重庆 400016)

摘要:以纳米 MgO/SiO₂ 作为添加剂,在 HQ-1 摩擦磨损实验机上进行自修复实验。试验考察载荷、转速、修复时间对纳米 MgO/SiO₂ 复合添加剂自修复性能的影响。实验结果表明,纳米 MgO/SiO₂ 在适宜的条件下对钢-钢摩擦副磨损金属表面有修复效果,其修复性能受载荷、转速及修复时间等条件影响;纳米 MgO/SiO₂ 添加剂对磨痕具有一定的填平作用,在一定程度上能够改善磨痕的粗糙度。

关键词:自修复;复合纳米 MgO/SiO₂;摩擦磨损

中图分类号:TE624.83 **文献标识码:**A **文章编号:**0254-0150(2007)8-049-3

Research on Automatic Restoration Capability of Composite Nanometer MgO/SiO₂

Xie Xuebing Chen Guoxu Sun Xia Li Huafeng

(Department of Oil Application & Management Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 400016, China)

Abstract: In order to study the influence of load, slide velocity and restoration time on automatic restoration capability of composite nanometer MgO/SiO₂ additive that added to 350SN lubricating oil. Systematic wear tests and automatic restoration tests were done on HQ-1 wear machine. The results show that composite nanometer MgO/SiO₂ has obvious effect of repairing on steel friction pairs under certain friction conditions, its automatic restoration capability is affected by load, slide velocity and restoration time. Composite nanometer MgO/SiO₂ can improve the frictional surface and reduces the surface roughness of friction pairs.

Keywords: automatic restoration; composite nanometer MgO/SiO₂; friction and wear

近年来,国内外学者在纳米润滑添加剂方面进行了大量的研究。研究表明,某些纳米材料具有低摩擦性、抗磨性、自洁性和对表面材料的修复功能等,作为润滑添加剂能明显提高基础油的摩擦学性能^[1-5]。

磨损是机械零件失效的重要原因之一,从作用过程来看,磨损和摩擦是同时发生的,并且相互影响,二者与摩擦学系统有关^[4]。摩擦学的复杂性和系统性给摩擦学研究带来了较大的困难,摩擦系统输入条件(载荷、速度等)对接触区压力、温度等产生直接影响,也对摩擦自修复和磨损产生影响。目前关于纳米复合材料摩擦学性能方面的研究报道较多,而关于摩擦学系统对复合纳米粒子自修复性能的影响的报道很少。本文作者对 MgO/SiO₂ 纳米复合添加剂的摩擦自修复性能进行了试验研究,考察摩擦系统条件对纳米 MgO/SiO₂ 自修复性能影响,同时还对其修复机制进行了初步探讨。

1 试验仪器和试验方法

1.1 试验材料与仪器

纳米 MgO (市场购得,平均粒径 10 nm,钛酸脂修饰);

纳米 SiO₂ (市场购得,平均粒径 20 nm,钛酸脂修饰);

KQ-100 D 超声波清洗分散器;

电子天平;

TR200 粗糙度测量仪。

1.2 试验方法

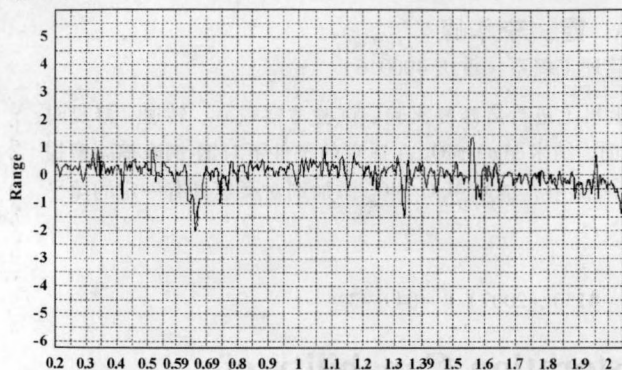
将纳米 MgO 与 SiO₂ 以 4:1 的比例按质量分数 4% 的添加量加入 350SN 基础油中,超声分散 10 min 后备用。实验在 HQ-1 摩擦磨损实验机上进行,采用标准试环,试环材料为 GCr15,硬度为 HRC 61,试块材料为 45# 钢,尺寸为 12 mm × 6 mm × 6 mm,粗糙度为 R_a 0.289 μm,其轮廓曲线及参数见图 1。首先将试块磨出磨痕,所有磨痕试验条件相同(载荷 500 N,转速 800 r/min,磨损时间 30 min,150BS 基础油润滑)。然后用 MgO/SiO₂ 纳米复合添加剂进行修复,称量修复前后试块的质量变化: $\Delta m = m_1 - m_0$,其中 m_1 为修复后试块质量, m_0 为修复前试块质量;

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(50235030)。

收稿日期:2007-03-19

作者简介:谢学兵(1977—),男,博士研究生,主要从事研究润滑油及润滑油添加剂。E-mail: xiexb77_hg@sohu.com.

运用 TR200 粗糙度测量仪测量试验修复后试块表面粗糙度, 以质量及粗糙度变化来评价添加剂的自修复效果。



Parameter

$R_a=0.289\text{ }\mu\text{m}$	$R_q=0.417\text{ }\mu\text{m}$	$R_z=1.956\text{ }\mu\text{m}$		
$R_y=2.969\text{ }\mu\text{m}$	$R_t=3.950\text{ }\mu\text{m}$	$R_p=1.126\text{ }\mu\text{m}$		
$R_m=1.843\text{ }\mu\text{m}$	$S=0.0307\text{ mm}$	$S_m=0.0436\text{ mm}$		
$S_k=1.115$				
Standard	Filter	Range	Access	Cutoff
ISO	RC	$\pm 20\text{ }\mu\text{m}$	31	0.8 mm

图 1 试块表面轮廓曲线

Fig 1 The figure of research surface

2 结果与讨论

2.1 载荷对纳米 MgO/SiO_2 自修复性能影响

以 50、100、150、200、250 N 5 种载荷进行修复试验, 其余条件相同 (转速 800 r/min, 修复时间 50 min)。载荷与试块质量变化关系见图 2, 由图 2 可以看出载荷在 50 ~ 150 N 时, 试块出现增重, 结果表明纳米 MgO/SiO_2 有效修复载荷为 50 ~ 150 N, 随着载荷的增大, 修复前后试块质量变化 Δm 逐渐下降。

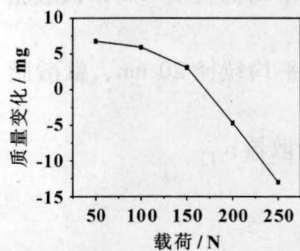


图 2 载荷与试块质量变化关系曲线

Fig 2 The curve of load and mass augment

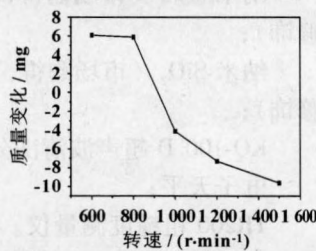


图 3 转速与试块质量变化关系曲线

Fig 3 The curve of slide velocity and mass augment

2.2 转速对纳米 MgO/SiO_2 自修复性能影响

分别在转速 600、800、1 000、1 200、1 500 r/min 下进行修复试验, 其余条件相同 (载荷为 100 N, 修复时间为 50 min)。转速与试块质量变化关系见图 3, 从图 3 可以看出转速在 600 ~ 800 r/min 时, 试块出现增重, 1 000 ~ 1 500 r/min 时, 试块出现磨损, 且随转速增大磨损加剧。

2.3 修复时间对纳米 MgO/SiO_2 自修复性能影响

对磨痕试块分别修复 20、50、90、120、150 min, 其余条件均相同 (载荷为 100 N, 转速为 800 r/min)。修复时间与试块质量变化关系见图 4, 从图 4 可以看出, 在载荷为 100 N、转速为 800 r/min 时, 在 20 ~ 150 min 内, 试块出现增重, 随修复时间的增加试块增重呈增大趋势。

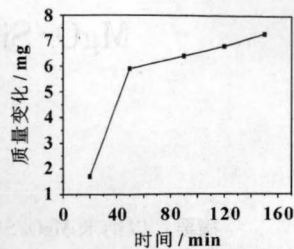
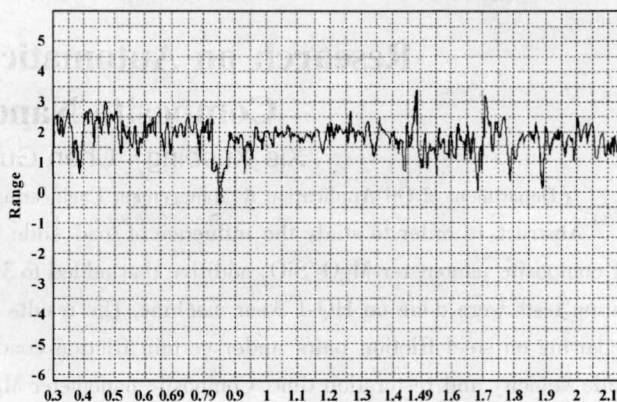


图 4 修复时间与试块质量变化关系曲线

Fig 4 The curve of time and mass augment

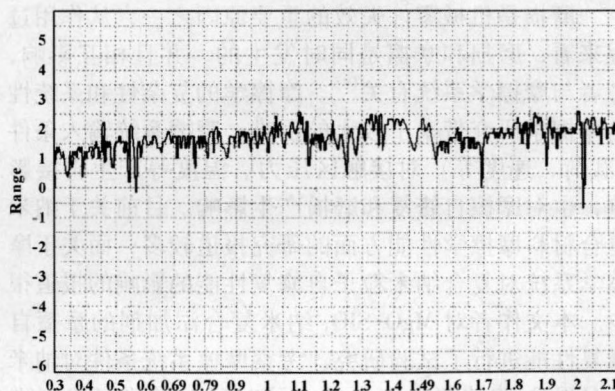


Parameter

$R_a=1.851\text{ }\mu\text{m}$	$R_q=3.453\text{ }\mu\text{m}$	$R_z=3.556\text{ }\mu\text{m}$		
$R_y=3.512\text{ }\mu\text{m}$	$R_t=4.127\text{ }\mu\text{m}$	$R_p=3.412\text{ }\mu\text{m}$		
$R_m=0.543\text{ }\mu\text{m}$	$S=0,0234\text{ mm}$	$S_m=0.034\text{ mm}$		
$S_k=2.404$				
Standard	Filter	Range	Access	Cutoff
ISO	RC	+/-20 μm	31	0.8 mm

图 5 修复前试块磨痕表面轮廓曲线

Fig 5 The figure of worn surface



Parameter

$R_a=1.643\text{ }\mu\text{m}$	$R_q=2.631\text{ }\mu\text{m}$	$R_z=2.742\text{ }\mu\text{m}$		
$R_y=2.521\text{ }\mu\text{m}$	$R_t=3.122\text{ }\mu\text{m}$	$R_p=2.511\text{ }\mu\text{m}$		
$R_m=0.743\text{ }\mu\text{m}$	$S=0.0192\text{ mm}$	$S_m=0.046\text{ mm}$		
$S_k=0.047$				
Standard	Filter	Range	Access	Cutoff
ISO	RC	$\pm 20\text{ }\mu\text{m}$	31	0.8 mm

图 6 修复后试块磨痕表面轮廓曲线

Fig 6 The figure of repaired surface

由图 2~4 可以看出, 纳米 MgO/SiO₂ 在适宜的条件下对磨损金属表面有修复效果, 其自修复性能受载荷、转速及修复时间等摩擦系统输入条件影响。图 5 为修复前试块磨痕表面轮廓曲线, $R_a = 1.851 \mu\text{m}$ 。图 6 为在载荷 100 N、转速 800 r/min 的条件下, 对磨损试块修复 50 min 后磨痕表面轮廓曲线, $R_a = 1.643 \mu\text{m}$ 。

从图 5、6 可以看出, 磨损表面粗糙度修复后粗糙度 R_a 降低了 11.2%, 这表明纳米 MgO/SiO₂ 添加剂对磨斑表面具有一定的填平作用, 在一定程度上能够改善磨斑表面的粗糙度。

2.4 纳米 MgO/SiO₂ 自修复性能影响机制探讨

许多学者对纳米材料摩擦自修复机制进行了研究, 并对多种纳米材料的减摩抗磨及自修复性能进行了研究^[4-7]。

由摩擦自修复过程和摩擦磨损过程可知, 摩擦自修复的过程同时也是摩擦磨损的过程。S K Rhee^[8-9] 提出钢-钢摩擦副的磨损方程 $\Delta W_0 = Kp^a v^b T^c$ (ΔW_0 为磨损; K 为磨损因子; p 为法向压力; v 为滑动速度; T 为滑动时间; a , b 和 c 分别为变量 p , v , T 的参数)。由方程可知, 滑动摩擦材料的磨损与法向压力、滑动速度、滑动时间密切相关。

自修复需要一定条件载荷、转速及修复时间, 即摩擦系统条件需要达到形成自修复需要机械作用力以及足够的物理化学作用, 可见, 摩擦自修复和摩擦磨损都跟载荷和转速等紧密相关, 摩擦修复取决于自修复膜的成膜速率与磨损速率的动态平衡。在摩擦副的表面上, 自摩擦自修复的速率决定于润滑添加剂的成膜能力、摩擦系统输入条件及摩擦副的材质等等。当载荷、转速及修复时间过小时, 达不到形成自修复的机械作用力以及足够的物理化学作用, 无法形成修复膜或形成速率低, 当载荷、转速及修复时间过大时, 修复膜的形成速率小于磨损速率, 无法形成自修复。

3 结论

(1) 纳米 MgO/SiO₂ 在适宜的条件下对钢-钢摩擦副磨损金属表面有修复效果, 其修复性能受载荷、转速及修复时间等条件影响。

(2) 当转速为 800 r/min、修复时间为 50 min 时, 随着载荷的增大修复的性能逐渐下降, 有效修复载荷为 50~150 N; 当载荷为 100 N、修复时间为 50 min

时, 修复的有效转速范围为 600~800 r/min, 随转速增加自修复性能逐渐下降。

(3) 纳米 MgO/SiO₂ 添加剂对磨痕具有一定的填平作用, 在一定程度上能够改善磨痕的粗糙度。

参考文献

- [1] R Reisfeld. Nanoparticles in amorphous solids [J]. Adv Sci Technol, 1995, 11: 3-13.
- [2] 刘维民, 薛群基, 周静芳, 等. 纳米颗粒的抗磨作用及作为磨损修复添加剂的应用研究 [J]. 中国表面工程, 2001, 14 (3): 21-29.
Liu Weimin, Xue Qunji, Zhou Jingfang, et al. Anti-wear properties of nanoparticles and application study of nanoparticles as additives in the wear-repairing agent [J]. China Surface Engineering, 2001, 14 (3): 21-29.
- [3] B K Gupta. Fullerene particles as an additive to liquid lubricants and greases for low friction and wear [J]. Lub Egn, 1994, 50 (7): 524-528.
- [4] 欧忠文, 徐滨士, 马世宁, 等. 磨损部件自修复原理与纳米润滑材料的自修复设计构思 [J]. 表面技术, 2001, 30 (6): 47-53.
Ou Zhongwen, Xu Binshi, Ma Shining, et al. Self-repair Principle of Wear Parts and Design Conception of Nano-lubricating Material as Self-repair Additives [J]. Surface Technology, 2001, 30 (6): 47-53.
- [5] Qiu S Q, Dong J X, Cheng G X. A review of ultrafine particles as antiwear additives and friction modifiers in lubricating oils [J]. Lub Science, 1999, 11 (3): 217-226.
- [6] 梁起, 张治军. LaF₃ 纳米微粒的摩擦学行为研究 [J]. 稀土, 1999, 20 (2): 32-35.
Liang Qi, Zhang Zhijun. Tribological Properties of LaF₃ Nanoparticle [J]. Chinese Rare Earths, 1999, 20 (2): 32-35.
- [7] 董凌, 陈国需, 方建华, 等. SiO₂/MgO 复合纳米添加剂的摩擦学和磨损修复性能研究 [J]. 润滑与密封, 2005 (5): 26-28.
Dong Ling, Chen Guoxu, Fang Jianhua, et al. Study on Tribological and Repairing Performance of Composite Nanoparticle SiO₂/MgO [J]. Lubrication Engineering, 2005 (5): 26-28.
- [8] S K Rhee. Wear equation for polymers sliding against metal surfaces [J]. Wear, 1970, 16: 431.
- [9] S K Rhee. Wear of Metal-reinforced Phenolic Resins [J]. Wear, 1971, 18: 471.

(上接第 48 页)

- [5] 卓洪, 郭俊, 刘启跃. 不同润滑介质下 GCr15/45 钢摩擦磨损特性的研究 [J]. 润滑与密封, 2006 (9): 87-89.
Zhuo Hong, Guo Jun, Liu Qiyue. An Investigation on Wear of GCr15/45 Steels under Different Lubricating Conditions

[J]. Lubrication Engineering, 2006 (9): 87-89.

- [6] 郭延宝, 徐滨士, 许一. 原位检验润滑油添加剂自修复性能的方法探讨 [J]. 润滑与密封, 2005 (3): 68-69.
Guo Yanbao, Xu Binshi, Xu Yi. The Method to Examination in-situ the Self-repairing Performance of Lubrication Oil Additive [J]. Lubrication Engineering, 2005 (3): 68-69.