

纳米铜添加剂在装备修复技术中的应用*

王晓丽, 徐滨士, 许 一, 史佩京, 于鹤龙, 赵 阳

(装甲兵工程学院, 装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 考察了纳米铜添加剂在不同润滑油中的减摩抗磨性能, 采用扫描电子显微镜对磨损表面进行了形貌和元素分析, 模拟实际工况进行了 300h 的发动机台架试验。结果表明: 纳米铜添加剂具有良好的减摩抗磨性能, 可使润滑油 650SN 的摩擦系数降低 48%, 磨痕宽度降低 21%; 使坦克润滑油 50CC 的摩擦系数降低 40%, 磨痕宽度降低 33%; 使柴油机油 15W/40CD 和汽油机油 15W/40SF 的摩擦系数分别降低 9%和 15%, 磨痕宽度分别降低 22%和 18%。在摩擦过程中, 纳米铜添加剂能够在磨损表面形成了一层疏松的自修复膜, 这层修复膜隔离了摩擦副之间的直接接触, 修复了磨损表面的微损伤, 从而起到有效的自修复作用。由纳米铜等添加剂组成的复合型添加剂具有优良的动力性、自修复性和经济性。

关键词: 纳米铜添加剂; 减摩抗磨; 自修复膜; 台架考察

中图分类号: TH17; TH16

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289-(2006)05⁺-0134-03

The Application of Nano-Cu Additive to Equipments Repairing Technology

WANG Xiao-Li, XU Bin-shi, XU Yi, SHI Pei-jing, YU He-Long, ZHAO Yang

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: The wear resistance and antifriction behavior of nano-Cu additive in different lubrication oil were tested. The feature and the elements of wore surface were analyzed using SEM. The 300h engine bench experiment of nano-Cu additive in lubrication was tested by simulating practical condition. The results indicate that nano-Cu additive has wonderful wear resistance and antifriction performance. The friction coefficient of lubrication oil 650SN, tank lubrication 50CC, lubrication 15W/40CD and 15W/40SF can be reduced by 48%, 40%, 9% and 15% respectively. While their wore track width can be decreased by 21%, 33%, 22% and 18% respectively. Nano-Cu additive can form loose self-repairing film on wore surface. The film isolates the direct contact of frictional pairs and repairs the minute damage of wore surface, So nano-Cu additive shows favorable self-repairing function. The compounding additive containing nano-Cu has good dynamic performance, self-repairing performance and economical efficiency.

Key words: nano-Cu additive; wear resistance and antifriction; self-repairing film; bench test

0 引 言

装备在使用过程中, 因磨损而产生的微损伤是导致零部件失效的主要原因之一, 装备的修复是保持和恢复装备完好性, 并发挥其效能的根本途径, 自修复技术是装备在运行过程中的自动修复, 该技术可节省大量人力、物力, 并能提高装备的可靠性、稳定性和使用寿命, 是绿色的再制造^[1-3]。装备再制

造技术国防科技重点实验室研制的含纳米 Cu 的复合型添加剂, 具有良好的抗磨减摩和自修复性能, 被总装备部指定为车辆装备自修复的首选添加剂之一^[4, 5]。为此, 文中测试了纳米铜添加剂对不同润滑油减摩抗磨性能的影响, 实际考察了纳米铜添加剂的自修复性能。

1 试验方法

采用 MM-200 型摩擦磨损试验机测试纳米铜添加剂对基础润滑油 650SN、坦克机油 50CC、柴

收稿日期: 2006-08-10 修回日期: 2006-09-15

基金项目: *国家自然科学基金 (9140A270302060C8501)

作者简介: 王晓丽 (1966-), 女(汉), 衡水人, 博士。

油机油 15W/40CD 和汽油机油 15W/40SE 抗磨减摩性能的影响, 摩擦试样为硬度是 210HB 的 45 钢, 载荷为 400 N, 转速为 200 r/min, 时间为 90 min; 采用 DP-12 型 OLYMPUS 光学显微镜观测磨损表面的状况; 借助于带有 X 射线能谱 (EDS) 的 QUANTA-200 型扫描电子显微镜 (SEM) 对磨损表面进行形貌和能谱分析, 以探讨纳米铜添加剂的自修复性能; 在军用吉普车发动机试验台上对含纳米铜的复合型添加剂进行了 300 h 台架试验, 1[#] 发动机使用普通汽油机油, 2[#] 发动机使用含纳米铜复合添加剂的同样机油。

2 结果与讨论

2.1 对润滑油减摩抗磨性能的影响

纳米铜添加剂对不同润滑油减摩性能的影响以摩擦系数的大小来表示, 如图 1 所示。从图 1 可知, 在四种润滑油中, 添加纳米铜添加剂后, 摩擦系数均得到降低, 说明纳米铜添加剂能够改善润滑油的减摩性能。对于不同的润滑油其改善程度不同, 对于基础润滑油 650SN, 摩擦系数降低了 48%; 对于坦克润滑油 50CC, 摩擦系数降低了 40%; 对于柴油机油 15W/40CD 和汽油机 15W/40SE, 纳米铜添加剂对减摩性能的改善作用不如对 650SN 和 50CC 明显, 摩擦系数分别降低了 9% 和 15%。

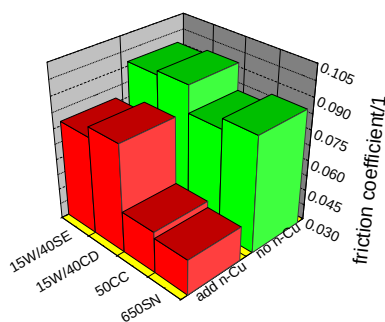


图1 纳米铜添加剂对不同润滑油摩擦系数的影响

Fig.1 The effect of nano-Cu additive to friction coefficient of different lubrication oil

纳米铜添加剂对不同润滑油抗磨性能的影响以磨痕宽度的大小来表示, 如图 2 所示。从图 2 可知, 加入纳米铜添加剂, 试块的磨痕宽度均得到了有效地降低, 对于坦克机油 50CC, 磨痕宽度降低了 33%, 对于基础油 650SN, 磨痕宽度降低了 21%, 对于柴油机油 15W/40CD 和汽油机油 15W/40SE 磨

痕宽度分别降低了 22% 和 18%。表明纳米铜添加剂的加入, 可显著地改善不同润滑油的抗磨性能, 尤其是对于坦克机油 50CC, 其抗磨效果更为突出。

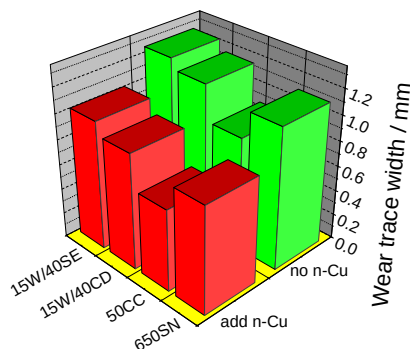
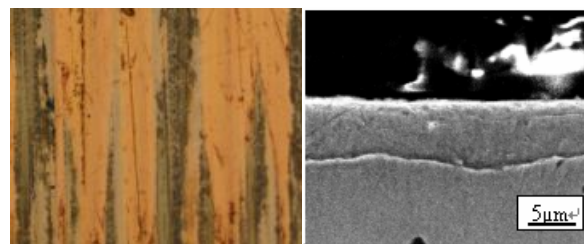


图2 纳米铜添加剂对不同润滑油磨痕宽度的影响

Fig.2 The effect of nano-Cu additive to wear trace width of different lubrication oil

2.2 自修复性能探讨

润滑油中加入纳米铜添加剂后, 能够在磨损表面形成一层疏松的黄色修复膜, 如图 3 (a) 所示。从图 3 (b) 可以看出, 这层修复膜与机体表面结合良好。这层修复膜隔离了摩擦副之间的直接接触, 修复了磨损表面在摩擦过程中的微损伤, 使磨损表面变得平整光滑, 无明显擦伤、裂纹等缺陷。

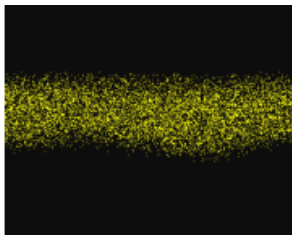


(a) 表面的光学显微镜图像 (b) 剖面的扫描电子显微镜图像

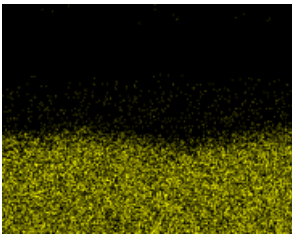
图3 纳米铜添加剂在磨损表面形成的修复膜

Fig.3 Nano-Cu additive forming the repairing film on wore surface (a) optical microscope image of surface (b) SEM image of section

对图 3 (b) 所示的基体和修复膜部分进行主要元素 EDS 面分布分析, 得出如图 4 所示的结果。从图 4 可知, 在基体的磨损表面上形成的黄色修复膜是铜膜。在摩擦过程中, 分散在润滑油中的纳米铜添加剂会随机沉积在磨损表面, 在磨损表面形成了具有减摩抗磨和修复性能的铜膜, 从而使纳米铜添加剂在摩擦过程中起到有效的减摩抗磨和自修复作用。



(a) 修复膜的主要元素为 Cu



(b) 基体的主要元素为 Fe

图 4 主要元素 EDS 面分布图像

Fig.4 EDS surface distribution image of main elements (a) Cu is the main element of repairing film (b) Fe is the main element of base metal

2.3 模拟考察分析

将纳米铜和其它添加剂组成的复合型添加剂，在发动机试验台上进行了模拟实际工况的 300 h 耐久可靠性试验和加速强化磨合试验，测试了含纳米铜复合添加剂对发动机功率、扭矩、油耗等特性的影响，如表 1 所示，并考察含纳米铜的复合添加剂对发动机的自修复性能。

从表 1 可知，300 h 模拟实际工况的试验后，添加复合添加剂的 1[#]发动机最大功率和最大扭矩均有一定下降，而不含复合添加剂的 2[#]发动机，其最大功率和最大扭矩不仅没有下降，反而分别上升 6.08 %和 2.00 %，说明纳米铜复合添加剂具有良好的动力性和经济性。观察发动机缸套，发现缸套磨损表面有黄红色的铜膜生成，说明摩擦过程中形成了铜修复膜，铜修复膜大大地改善了缸套-活塞环的润滑状况，对军用车辆等装备起到了良好的减摩抗磨和自修复作用。

3 结 论

(1) 纳米铜添加剂的减摩抗磨性能，从对不同润滑油摩擦系数的降低和磨痕宽度的减小两方面来说明，得出：对于基础润滑油 650 SN，可使摩擦系数降低 48%，磨痕宽度降低 21 %；对于坦克润滑油 50 CC，摩擦系数降低 40 %，磨痕宽度降低 33 %；对于商品油 15W/40CD 和 15 W/40 SF，摩擦系数分别降低 9 %和 15 %，磨痕宽度分别降低 22 %和 18 %。

表 1 300 h 台架试验结果

Table1 The results of 300 h bench test

Results		Maximum power/ rotational speed	Maximum torque/ rotational speed	Minimum oil consumption ratio/ rotational speed
		kW / r·min ⁻¹	Nm / r·min ⁻¹	g·Kwh ⁻¹ / r·min ⁻¹
1 [#] engine	Before test	118.22 / 4500	280.04 / 2250	328.82 / 3000
	After test	114.72 / 4500	278.60 / 2280	317.26 / 3000
2 [#] engine	Before test	112.52 / 4750	269.45 / 2250	310.97 / 2250
	After test	119.36 / 4750	274.82 / 2500	292.36 / 2500

(2) b 在摩擦过程中，分散在润滑油中的纳米铜添加剂在磨损表面形成了一层疏松的修复膜，这层修复膜隔离了摩擦副之间的直接接触，修复了磨损表面在摩擦过程中的微损伤，从而起到有效的减摩抗磨和自修复作用。

(3) 模拟实际工况的发动机台架试验表明，所研制的纳米铜复合型添加剂具有良好的动力性、自修复性和经济性。

参考文献：

[1] 徐滨士, 乔玉林. 变化无穷的摩擦化学转移膜技术[J]. 中国表面工程, 2001, 50(1):46-48.

[2] 徐滨士, 史佩京, 许一, 等. 纳米颗粒的摩擦学性能及其用作润滑油修复添加剂的应用研究 [C]. 上海: 摩擦学工程技术论坛, 2004: 6-14.

[3] 于鹤龙. 表面修饰纳米铜颗粒的制备及其作为润滑油添加剂的摩擦学性能研究 [D]. 北京:装甲兵工程学院硕士学位论文, 2006.

[4] 王晓丽,徐滨士,于鹤龙,等. 装备在运行过程中的修复技术研究 [J]. 中国表面工程, 2006, 19(4-II): 279-282.

[5] 史佩京. 减摩修复添加剂的研制及发动机台架考核试验 [D]. 北京: 装甲兵工程学院硕士学位论文, 2003.

作者地址：北京丰台区杜家坎 21 号 100072
装备再制造国防科技重点实验室
Tel: (010)66718541 Fax: (010)66717144
E-mail: wxli_bh@163.com