

几种纳米铜添加剂抗磨性能试验研究*

刘 谦^{1, 2}, 许一², 史佩京², 王晓丽², 于鹤龙², 徐滨士²

(1.装甲兵工程学院 装备再制造工程系, 北京 100072; 2.装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 采用化学反应法制备了5种纳米铜微粉, 采用超声分散工艺分散于400SN基础油中进行摩擦磨损试验。试验结果表明, 在试验范围内1#、2#和3#纳米铜在较高载荷下能够提高基础油的抗磨性能, 磨斑直径为基础油润滑时的70%。能谱分析表明磨痕表面不均匀的分布有铜元素, 说明添加剂中的纳米铜在磨痕表面沉积形成了保护性润滑膜, 起到改善润滑油抗磨性能的作用。

关键词: 纳米铜; 添加剂; 抗磨

中图分类号: TB383

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289-(2006)05⁺-0137-03

Study on the Anti-wear Properties of Several Nano-Cu Additives

LIU Qian^{1,2}, XU Yi², SHI Pei-jing², WANG Xiao-li², YU He-long², XU Bin-shi²

(1.Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072; 2.National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072)

Abstract: Five kinds of copper nanometer particles were synthesized with chemical reaction method and dispersed in 400SN lubricant oil by means of ultrasonic disperse process. The effect of the nano-Cu particles as an additive on the anti-wear ability of 400SN oil was examined on a four-ball machine. The results showed that the 1#, 2# and 3# nano-Cu additives could considerably increase the anti-wear ability of base oil under higher load in test. The element dispersing on the worn surfaces were studied by means of electron microprobe analysis. Cu element was observed obviously. The deposition of nano-Cu on the worn surface contributed to the improvement of the anti-wear ability.

Key words: nano-Cu; additives; anti-wear

0 引 言

磨损是机械零件失效的三大原因(磨损、腐蚀和断裂)之一。近年来我国的研究工作者提出了摩擦磨损表面自适应、自修复的设想, 纳米材料的发展为这一目标的实现提供了新的途径^[1]。由于纳米材料具有比表面积大、高扩散性、易烧结性、熔点降低等特性, 因此以纳米材料为基础制备的新型润滑材料应用于摩擦系统中, 将以不同于传统载荷添加剂的作用方式起到减摩抗磨作用。这种新型润滑材料不仅可以在摩擦表面形成一层易剪切的薄膜, 降低摩擦系数, 而且直接吸附到零件的划痕或微坑处, 或通过摩擦化学反应产物对摩擦表面进行一定程度的填补和修复, 起到自修复作用^[2-3]。微纳米软金

属颗粒添加剂是研究的热点之一, 在抗磨减摩性能和自修复方面取得了明显的效果^[4-7]。本文对实验室制备的几种纳米铜材料进行了抗磨性能试验, 并对试验结果进行了分析。

1 试验部分

采用化学反应法制备了5种纳米铜微粉, 表面修饰后采用超声分散方法加入到基础油中, 分别标为1#至5#(见表1), 纳米铜添加浓度为0.1%(wt%)。基础油为400SN, 标为6#。超声分散在KQ3200数控超声波清洗机上完成, 超声时间为10min。

试验使用Ms-800A四球摩擦试验机, 用于评定润滑油的抗磨性能。试样选用重庆产直径为12.7mm的GCr15钢球, 硬度为58-62HRC。试验前试样用石油醚超声清洗10min。试验温度为室温, 试

收稿日期: 2006-08-10 修回日期: 2006-09-10

基金项目: *自然科学基金项目(50235030)

作者简介: 刘谦(1973-), 男(汉), 河北辛集人, 助研, 博士研究生。

验载荷采用 196 N、294 N 和 392 N；转速：1 475 rpm；试验时间 30 min。

表 1 试验用纳米铜材料编号和特征

Table 1 The characteristic and number of nano-Cu in test

编号	1#	2#	3#	4#	5#
外观	浅土黄色粉末	深土黄色粉末	棕红色粉末	棕红色粉末	黑色粉末
分散性	较好	较好	较好	一般	较差

摩擦试验结束时测量钢球的磨斑直径评价润滑材料的抗磨性能，每种材料所测直径为三个钢球的平均磨斑直径。对试验后的试样表面进行观察分析。摩擦表面观察分析采用 OLYMPUS 光学显微镜和 Quant 200 型扫描电镜，用 GENESIS 型 X 射线能谱分析仪进行摩擦表面元素分析。

2 试验结果与讨论

2.1 摩擦磨损试验结果

图 1 为 5 种纳米铜添加剂和基础油在不同载荷下的钢球磨斑直径变化，磨斑直径越小，抗磨性能越好。从图中可以看出，与基础油相比，当载荷较小（196 N）时，抗磨性能没有改善，4#和 5#添加剂反而出现了负作用，使磨损量大幅度增加。这可能是由于 4#和 5#纳米铜分散性能较差造成的。一般情况下，润滑油中的无机纳米颗粒对油品的摩擦学性能有两方面的影响，一方面是改善其摩擦学性能，起到抗磨减摩的作用；另一方面由于无机纳米颗粒在润滑油中的分散性较差，会由于颗粒度较大或发生团聚而破坏润滑油膜的完整性及连续性，使摩擦学性能变差，磨损量增大。以上两种作用互相影响，构成纳米颗粒对摩擦学性能影响的动态平衡^[8]。在配置过程中，虽然经过 10 min 的超声波剪切，但是在 4#和 5#油样底部能用肉眼观察到固体沉淀，说明纳米铜在基础油中的分散性能较差，尤其是 5#样品颗粒间相互团聚的倾向较大，因此影响了润滑油的摩擦学性能。当载荷增加到 294 N 和 392 N 时，1#、2#和 3#添加剂起到了改善抗磨性能的作用，磨损量明显减小。其中 2#纳米铜添加剂的作用最好，磨损量仅为基础油的 70 %。载荷为 392 N 时，4#和 5#添加剂作用下的磨损量与基础油相当。但是有一点值得注意的是，当载荷由 196 N 提高到 294 N

和 392 N 时，4#和 5#的磨损量变化较小，说明在纳米铜添加剂作用下，载荷增加对磨损量的影响变小了。总之，在试验范围内，载荷较小时纳米铜添加剂的抗磨作用不显著，在载荷较大时，1#、2#和 3#添加剂起到了改善抗磨性能的作用，磨损量明显减小。

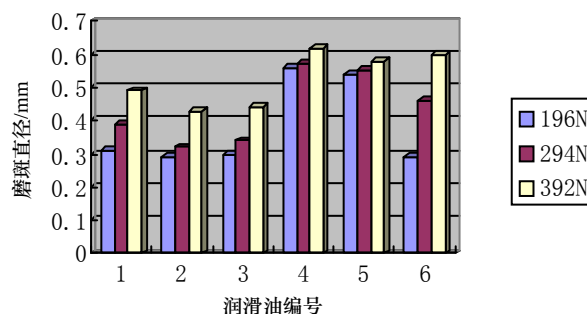


图 1 不同载荷下纳米铜添加剂抗磨性能

Fig.1 The anti-wear ability of nano-Cu additives under different loads

2.2 磨损表面分析

图 2 和图 3 分别是基础油润滑磨斑和 2#纳米铜添加剂润滑磨斑的表面形貌。从图中可以看出，在基础油润滑时，磨损表面存在较明显的划痕，磨粒磨损和粘着磨损是主要的磨损形式。这是在边界润滑条件下，表面微凸体及摩擦过程中产生的磨屑对钢球表面的犁削造成的。含有纳米铜添加剂的油样润滑下的磨损表面较平整，磨痕表面的犁沟较少较浅。

图 4 为 2#纳米铜添加剂润滑磨斑的表面能谱分析。从对试样磨痕表面进行表面分析可以看出，磨痕表面不均匀的分布有 Cu 元素，说明添加剂中的纳米 Cu 在磨痕表面沉积形成了保护性润滑膜。由于沉积的 Cu 膜的硬度和剪切强度比钢要低得多，因此摩擦力会减小，而且使摩擦表面的磨损减小。摩擦表面相接触时，由于表面存在粗糙度，实际上仅仅是少数的尖峰（微凸体）相接触。按照粘着理论，金属表面间的摩擦首先是在接触点发生了粘结，使两表面形成一体。当两表面相对运动时，必须要有足够大的切向力来剪切这些粘结点。另外较硬的金属表面的微凸体会陷入较软的金属表面，两表面相对运动时，硬的微凸体会在软的金属面上犁出沟来。纳米添加剂通过在摩擦表面形成表面膜改善摩擦表面的性能，减少接触表面的摩擦和磨损。从载荷变化对磨损量的影响看，当载荷增加时，纳

米粒子在摩擦表面的量增加,形成的保护性润滑膜 更加完整,能够明显的减小摩擦表面的磨损。

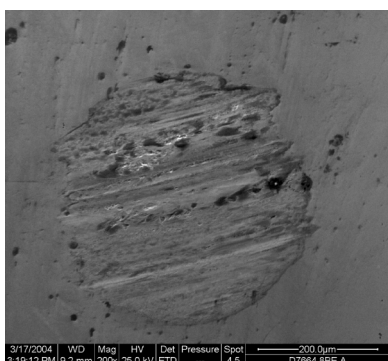


图 2 基础油润滑磨斑表面形貌

Fig2 The morphology of worn surface lubricated with base oil

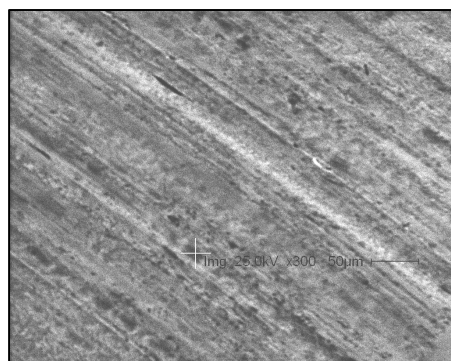


图 3 纳米铜润滑磨斑表面形貌

Fig 3 The morphology of worn surface lubricated with nano-Cu additive

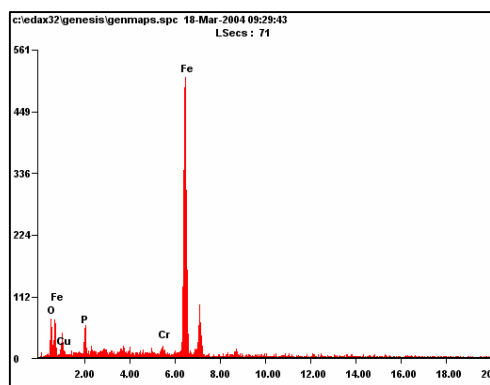


图 4 纳米铜润滑磨斑表面能谱分析

Fig4 EDX spectrum of the worn surface lubricated with nano-Cu additive

3 结 论

通过不同工艺制备的 5 种纳米铜添加润滑添加剂摩擦学性能试验证明:

(1) 在试验范围内 1#、2#和 3#纳米铜在较高载荷下能够提高抗磨性能,磨斑直径为基础油润滑时的 70 %。试验采用的 5 种纳米铜材料的抗磨效果并不相同,说明不同的结构形态的纳米材料会起到不同的作用。

(2) 能谱分析表明磨痕表面不均匀的分布有 Cu 元素,说明添加剂中的纳米 Cu 在磨痕表面沉积形成了保护性润滑膜,起到改善润滑油抗磨性能的作用。

参考文献:

- [1] 徐滨士,梁秀兵,马世宁,等.实用纳米表面技术 [J]. 中国表面工程, 2001,14(3):13-17.
- [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, 2001,3:21-29.
- [3] 刘谦, 徐滨士. 纳米润滑材料和润滑添加剂的研究进展 [J]. 航空制造技术, 2004, 2:71-73.
- [4] 刘谦,徐滨士,许一, 等. 摩擦条件对纳米铜润滑添加剂减摩性能影响的研究 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2004.18 (1): 84-86.
- [5] 夏延秋. 纳米级铜粉改善润滑油抗磨性能的研究 [J]. 润滑与密封, 1998, (5): 43-44.
- [6] 张志梅,古乐,齐毓霖,等. 纳米级金属粉改善润滑油摩擦性能研究 [J]. 润滑与密封,2000, (2): 40.
- [7] 史佩京,刘谦,于鹤龙,等. 纳米铜微粒作为润滑油添加剂的分散方法及其摩擦学性能研究 [J]. 石油炼制与化工, 2005.36(3):33-38.
- [8] 于鹤龙,许一,史佩京,等. 分散工艺对纳米铜颗粒摩擦学性能的影响 [J].中国表面工程, 2006, 19(4): 291-294.

作者地址: 北京丰台杜家坎 21 号 100072

装甲兵工程学院再制造工程系

Tel: (010) 66718874 Fax: (010) 66718874

E-mail: llttqq@sina.com