

应用铜型纳米自修复材料原位修复喷油泵柱塞偶件的研究*

于鹤龙, 许 一, 史佩京, 张 伟, 徐滨士

(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: 将平均粒径为20~50 nm的铜粉均匀分散到柴油中, 在12PSDB75型喷油泵试验台上利用纳米铜微粒的磨损自修复性能, 在不拆卸零件的情况下对磨损失效的喷油泵柱塞偶件进行了原位修复, 利用扫描电镜 (SEM)、能谱仪 (EDS) 等对修复前后柱塞表面进行了形貌与微区成分分析。结果表明, 在试验台转速500 r/min的条件下修复后的喷油量较修复前提高了33.3%。这主要是因为喷油泵运转过程中, 添加到柴油中的纳米铜颗粒能在柱塞及柱塞套内表面形成一定厚度的铜保护膜, 从而减小偶件的配合间隙, 增大喷油压力与喷油量, 改善喷油泵性能。

关键词: 纳米铜颗粒; 自修复; 铜保护膜; 原位修复; 喷油泵柱塞偶件

中图分类号: TH117; TB383 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289(2006)05*-0140-03

In-situ Repair of Injection Pump Plunger by Applying Cu Auto-reconditioning Nanophase Materials

YU He-long, XU Yi, SHI Pei-jing, ZHANG Wei, XU Bin-shi

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

Abstract: In the present work, Cu nanoparticles with an average size of 20-50 nm were dispersed in diesel fuel oil. A injection pump plunger was in-situ repaired on a 12PSDB75 fuel injection pump by applying auto-reconditioning function of Cu nanoparticles. Morphologies and typical element distributions of the plunger piston surface before and after repair were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Results indicate that by adding Cu nanoparticles to diesel fuel, a thin copper film is formed on injection pump plunger and barrel surface during friction process. Hence, the fit clearance between injection pump plunger and pump barrel is reduced. As a result of that effect, the oil injection pressure is enlarged and oil injection volume increases 33.3% than before at a rotational speed of 500 rpm.

Key words: Cu nanoparticles; auto-recondition; Cu protective film; in-situ repair; injection pump plunger and barrel

0 引 言

喷油泵是柴油机燃油供给系统中最重要的零件之一, 其性能和质量对柴油机影响极大, 被称为柴油机的“心脏”。在使用中, 要求油泵压力要保证喷射压力和雾化质量。随着机械设备高效化、集约化发展步伐的加快, 发动机单位质量承受的功能载荷愈来愈大, 由于磨损导致喷油泵柱塞配合间隙增大, 喷油泵供油不足, 在一定程度上影响车辆动力性能的问题也越来越突出。

近年来, 纳米润滑技术的发展使纳米颗粒作为润滑油修复添加剂的研究不断取得进展。研究表明^[1~4], 将纳米金属微粒添加到润滑油中作为添加剂

收稿日期: 2006-07-14 修回日期: 2006-09-14

基金项目: *国家自然科学基金资助项目(50235030)和武器装备预研基金项目(编号略)。

作者简介: 于鹤龙 (1979-), 男 (满), 吉林四平人, 助教。

使用, 能明显提高油品的抗磨减摩性能, 同时改善材料表面形貌, 并具有一定的修复功能。本文选用12PSDB75型喷油泵试验台, 在喷油泵运转的过程中, 将纳米铜修复材料添加到柴油当中, 利用柱塞偶件的相对运动, 实现在摩擦的过程中对磨损失效的12150发动机喷油泵进行原位修复。试验结束后, 利用SEM、EDS等仪器对修复后柱塞及柱塞套表面进行了表征分析。

1 试验材料及方法

1.1 纳米铜颗粒

试验所用纳米铜颗粒采用液相还原法制备, 利用高能球磨与有机修物饰相结合的方法对颗粒进行了抗氧化与油溶性改性^[5]。图1所示为纳米铜颗粒形貌的TEM照片。可以看出, 所用纳米铜颗粒近似呈球形, 大小均匀, 粒径约为20 nm。

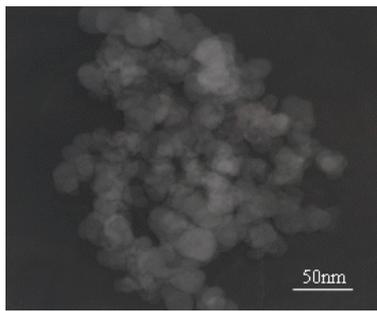


图1 纳米铜颗粒的TEM形貌

Fig.1 TEM image of Cu nanoparticles

1.2 试验仪器及方法

修复试验在济南产12PSDB75型柴油喷油泵试验台上进行,试验台由图2(a)所示的下列单元构成:

- (1) 控制面板:对试验台进行操作,包括控制主轴转速,喷油量的测量与计数等;
- (2) 驱动单元:为系统提供动力;
- (3) 12150L发动机喷油泵:安装有柱塞及柱塞套(如图2(b)所示);
- (4) 喷油量计量单元:记录不同转速及计数条件下的喷油量;
- (5) 供油系统:为喷油泵提供分散有纳米铜颗粒的柴油,作为修复材料。

试验台主轴转速为500 r/min,修复时间为10 h。将纳米铜颗粒以10wt%的比例添加到柴油中制成纳米铜添加剂作为修复材料。通过喷油量的变化评价修复效果,系统的原理如图2(c)所示。



图2 喷油泵试验台及修复系统原理图 (1-柱塞套; 2-柱塞; 3-纳米铜)

Fig.2 Injection pump plunger and schematic image of repair test (a) Fuel injection pump tester (b) Plunger and barrel (c) Schematic image of repair (1-Plunger bushing; 2-Diesel oil containing Cu nanoparticles; 3-Plunger piston)

2 结果与讨论

2.1 喷油泵性能

图3所示为喷油量随修复时间的变化曲线。可见,随着修复时间增加,喷油量逐渐增大,当修复时间达到450 min以后,喷油量趋于稳定。图4所示为修复前后不同转速下喷油量的变化曲线。可以看出,修复后的喷油泵在不同转速下的喷油量均较修复前有大幅提高,转速从100~800 r/min条件下的喷油量较修复前分别增加了18.3%、17.6%、33.7%、31.4%、28.3%、31.6%、13.6%和13.2%。喷油量的增加说明喷油泵柱塞与柱塞套的配合间隙减小,导致喷油压力增大,漏油量降低。

及喷油量的降低;而修复后的柱塞表面光滑、平整。由图6所示的能谱分析可知,修复后表面形成了一层均匀的铜保护膜,因此使柱塞及柱塞套间的配合间隙变小,喷油压力和喷油量增大。

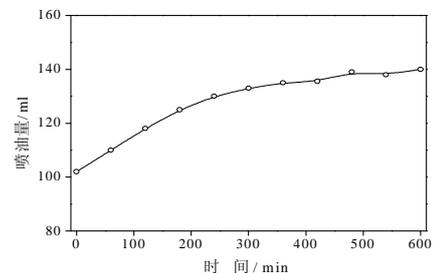


图3 喷油量随修复时间的变化

Fig.3 Variation of oil injection volume with repair time

2.2 表面分析

图5所示为修复前后喷油泵柱塞表面形貌的SEM照片。由图可见,修复前柱塞表面存在大量由于磨损而造成的划痕和擦伤,因此造成了喷油压力

纳米铜颗粒具有较低的熔点,在摩擦过程中,摩擦微凸体的直接接触与碰撞产生大量的摩擦热,

柴油中的纳米铜颗粒在摩擦表面瞬时温度、压力及摩擦剪切力的作用下,在摩擦表面铺展成膜,从而改变了由于磨损造成的柱塞偶件间不断增大的配合间隙,使配合间隙减小,增大了喷油压力,从而

使喷油量增大,喷油泵性能得到改善。此外,纳米铜颗粒在摩擦副表面所形成的保护膜具有较低的剪切强度,能够起到降低摩擦系数的作用,对于降低喷油泵功耗可能具有一定作用。

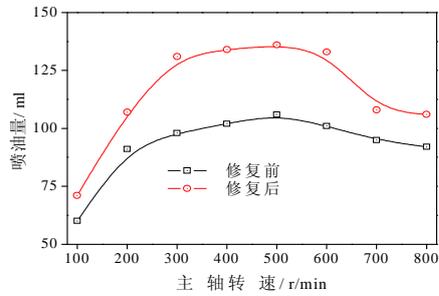
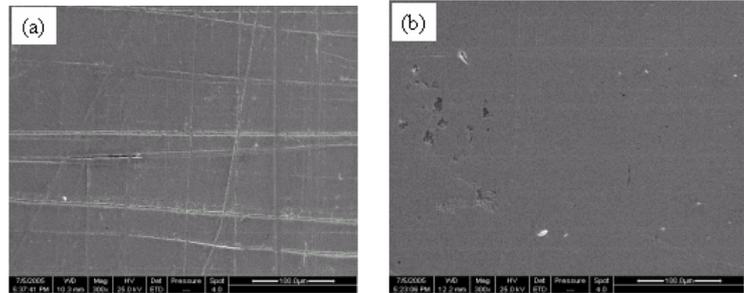


图4 修复前后喷油量随主轴转速变化的关系曲线

Fig.4 Comparison of oil injection volume before and after repair



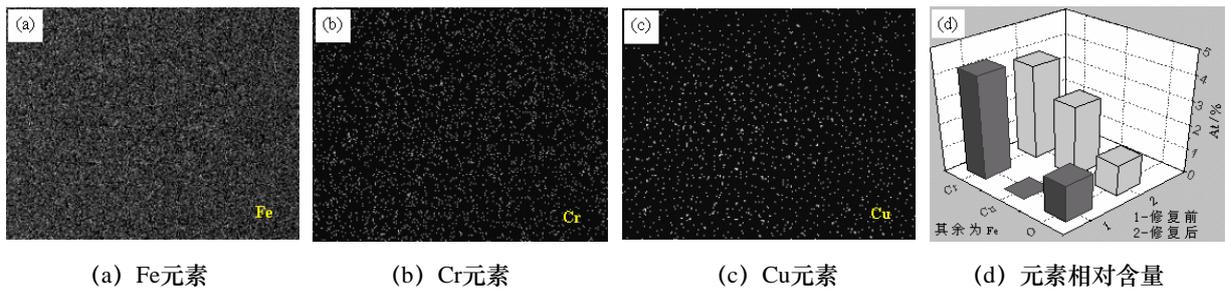
(a) 修复前表面

(b) 修复后表面

图5 柱塞表面形貌的SEM照片

Fig.5 SEM images of injection pump surface (a) Surface before repair

(b) Surface after in-situ repair by nanocopper



(a) Fe元素

(b) Cr元素

(c) Cu元素

(d) 元素相对含量

图6 修复后柱塞表面元素面分布

Fig.6 Element distributions of the injection pump surface after repaired (a) Distribution of Fe (b) Distribution of Cr (c) Distribution of Cu (d) Element atomicity concentrations

3 结论

(1) 将平均粒径为20~50 nm的铜粉均匀分散到柴油中,在12PSDB75型喷油泵试验台上利用纳米铜微粒的磨损自修复性能可显著改善喷油泵的喷油性能,在试验台转速500 r/min的条件下运转10 h后可将喷油量提高33.3%。

(2) 在喷油泵运转的过程中,添加到柴油中的纳米铜颗粒能够在柱塞及柱塞套表面形成一定厚度的铜保护膜,从而减小配合间隙,增大喷油压力与喷油量。

参考文献:

[1] 徐滨士. 纳米表面工程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

- [2] Tarasov S, Kolubaev A, Belyaev S. Study of friction reducing by nanocopper additives to motor oil [J]. Wear 252 (2002) 63-69.
- [3] 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.
- [4] 于鹤龙, 徐滨士, 许一, 等. 纳米铜颗粒作为润滑油添加剂的研究进展 [J]. 材料导报. 2005,19(10): 53~55.
- [5] WANG Xiao-li, XU Bin-shi, XU Yi, et al. Preparation of nano-copper as lubricating oil additive [J]. Journal of central south university of technology. 2005,12(S2):203-206.

作者地址: 北京长辛店杜家坎21号院士办, 100072

Tel: (010)66718580 Fax: (010)66717144

E-mail: helong.yu@163.com