

钛基纳米润滑添加剂的减摩抗磨及自修复特性对比

(越南)阮亭纲, 周桂源, 谢先东, 刘启跃

(西南交通大学 摩擦学研究所, 成都 610031)

摘 要: 针对恶劣工作环境会加剧机械设备摩擦副间的磨损而降低其服役寿命的问题, 对比研究 3 种纳米添加剂 TiO_2 、 TiN 和 TiC 在不同工况下的摩擦学性能及其自修复性能。根据 SH-T0762-2005 标准润滑油摩擦因数测定法, 并利用 MRS-10A 型四球磨损试验机磨斑测量光镜、激光共聚焦显微镜和能量色散谱仪(EDS)对磨损表面进行表征, 探讨其润滑抗磨及自修复机理。结果表明: 钛基纳米添加剂的加入很好地改善了润滑油的抗磨减磨性能, 并使其具有一定的自修复性能; 当钛基纳米质量分数为 0.5% 时, 其减摩抗磨性能达到最佳。3 种纳米添加剂中, 对润滑油减摩抗磨性能改善效果最好的是纳米 TiO_2 , 而自修复效果最好的则为纳米 TiN 。故纳米 TiN 和纳米 TiO_2 作为润滑油添加剂, 具有较好的减摩抗磨和自修复能力。

关键词: 减摩抗磨; 润滑油; 纳米添加剂; 自修复

中图分类号: TH117.3

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2015)04-0047-07

Comparison of Friction Reducing Anti-wear and Self-repairing Properties of Different Ti-base Nanometer Lubricating Oil Additives

NGUYEN Dinh-cuong, ZHOU Gui-yuan, XIE Xian-dong, LIU Qi-yue

(Tribology Research Institute, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: Poor working environment worsens the wear of mechanical equipment friction pair, thereby reducing its service life. The tribological behaviors and self-repairing mechanism of different nanometer lubricating oil additives TiO_2 , TiN and TiC were comparatively investigated in different working conditions. Based on the SH-T0762-2005 test method for determination of the frictional coefficient of lubricants, the lubrication anti-wear and self-repairing mechanism were analyzed by the four-ball test machine(MRS-10A) grinding spot measurement system, laser scanning confocal microscopy(OLS1100) and energy spectrum analysis(EDS). The results show that the anti-wear and friction reducing characteristics of lubricating oil with Ti-base nanometer additives are better than those of base oil, and they have a certain self-repairing performance. Meanwhile, the friction reducing anti-wear characteristics reach the best when the mass fraction of the Ti-base nanometer additive is 0.5%. The friction reducing anti-wear characteristics and the self-repairing performances of the three nanometer additives are different, while the nanometer additive TiO_2 has the best anti-friction and anti-wear characteristics and the nanometer additive TiN has the best self-repairing performance. Therefore, the nanometer TiN and nanometer TiO_2 as lubricating oil additives have better friction reducing anti-wear and self-repairing ability.

Keywords: anti-friction and anti-wear; lubricating oil; nano-additive; self-repairing

0 引 言

摩擦磨损现象在机械设备中普遍存在, 恶劣

的工作环境通常会加剧摩擦副之间的磨损现象, 并将会降低机械零部件的服役寿命^[1-2]。为了降

收稿日期: 2014-12-05; 修回日期: 2015-03-16

通讯作者: 刘启跃(1964—), 男(汉), 教授, 博士; 研究方向: 摩擦与磨损; Tel: (028) 8760 3724; E-mail: liuqy@home.swjtu.edu.cn

网络出版日期: 2015-06-23 17:10; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20150623.1710.006.html>

引文格式: 阮亭纲, 周桂源, 谢先东, 等. 钛基纳米润滑添加剂的减摩抗磨及自修复特性对比 [J]. 中国表面工程, 2015, 28(4): 47-53. Nguyen D C, Zhou G Y, Xie X D, et al. Comparison of friction reducing anti-wear and self-repairing properties of different Ti-base nanometer lubricating oil additives [J]. China Surface Engineering, 2015, 28(4): 47-53.

低摩擦副的磨损、延长机械零部件的服役寿命,需要进一步改进和提高润滑剂的减摩抗磨性能。

近三十年,自修复技术已引起学术界的高度关注,并已应用于相关工业领域^[3-5]。将纳米材料添加到润滑油中,形成微球形纳米颗粒,起到类似“球轴承”的作用,从而提高润滑油的润滑性能和承载能力^[6];另外,纳米粉体还可以填充在工作表面的微坑和损伤部位,从而起到修复作用^[7]。因此,含有纳米添加剂的润滑油广泛用于恶劣环境下的润滑^[8-9]。但是在纳米添加剂的应用过程中也存在一些问题,如当纳米添加剂含量较大时,容易发生团聚现象并丧失应有的抗磨减摩能力^[10]。研究表明,减摩抗磨和自修复能力主要取决于纳米添加剂的材料性质和润滑油中添加剂的含量。同时,悬浮液的 pH 值、超声分散功率、悬浮液的分散稳定性,以及载荷、转速、温度等工作条件等均对纳米添加剂润滑油性能有显著影响^[11-12]。

由于对自修复添加剂试验缺乏统一的评价方法和标准,所以一般采用四球机等试验设备对其进行标准试验,并通过测量试验过程中的摩擦因数以及分析修复前后摩擦副表面形貌、磨损量的变化等手段,以评定其自修复效果。文中利用四球摩擦试验机,以纳米 TiO_2 、 TiN 和 TiC 作为添加剂的润滑油与基础油对比,研究 GCr15 钢球摩擦副的减摩抗磨特性,并通过检测特征元素及其含量以评价不同纳米添加剂的自修复性能。

1 试验与方法

1.1 润滑剂配制

添加剂材料选用的是北京德科岛金科技有限公司提供的纳米 TiO_2 (粒度为 10 nm) 和纳米 TiN (粒度为 20 nm), 上海水田材料科技有限公司提供的纳米 TiC (粒度为 40 nm)。由于纳米颗粒的粒度大小与摩擦因数之间没有直接关系,对于小粒度的纳米颗粒,其减摩抗磨性能也不一定好^[13],所以 3 种纳米添加剂的粒度不同对试验结果没有影响;而纳米添加剂的形貌对摩擦有一定的影响^[14],不同类型的添加剂具有不同的形貌,所以添加剂类型是影响结果的主要因素。分散剂为聚乙二醇(PEG-200),一种无色的粘性液体。基础油为长城 CF-4 15W/40 柴油机油。

将 3 种钛基纳米(TiO_2 、 TiN 、 TiC)和一定质

量的分散剂加入基础油中(钛基纳米与分散剂的质量比为 1:2),并将上述混合物充分搅拌并利用超声分散制成油样(分散时间为 30 min)。每种油样中钛基纳米的含量(质量分数)分别为 0.25%、0.50% 和 1.00%。

1.2 摩擦学性能测试

在 SH-T 0762-2005 标准工况下,利用四球摩擦试验机(MRS-10A)对含有不同质量分数钛基纳米添加剂的润滑油进行试验。试验中使用 GCr15 二级标准钢球,直径为 12.7 mm,表面硬度为 64~66 HRC。首先在四球摩擦试验机上进行针对不同质量分数钛基纳米的四球摩擦试验,运行时间为 60 min,试验所采用的参数为 SH-T0762-2005 标准工况:温度 75 °C,转速 600 r/min,载荷 392 N。

从试验结果中分析得到润滑油中钛基纳米的最佳质量分数,然后选取含有最佳质量分数钛基纳米添加剂的润滑油,分别在上述标准工况的基础上,改变试验载荷和试验转速以评估其抗磨、减摩和自修复性能。不同载荷分别设定为 300、392、500 和 600 N,对于不同转速的试验,其试验转速分别设定为 400、600、800 和 1 000 r/min。

1.3 磨损表面表征

试验后,利用磨斑测量系统测量磨斑的直径,利用激光共聚焦扫描显微镜(OLYMPUS OLS 1100)观察磨斑形貌,并用 EDS 分析磨斑的元素成分。

2 结果与讨论

2.1 纳米添加剂含量对摩擦学性能的影响

润滑油的减摩抗磨性能与纳米添加剂含量有关。图 1 为摩擦因数和磨斑直径随添加剂含量的变化。从图中可以看出,摩擦因数和磨斑直径均随纳米添加剂含量增加呈现先减小后增大的趋势。当纳米添加剂含量为 0.5% 时,摩擦因数和磨斑直径均达到最小。即当纳米添加剂含量为 0.5% 时,润滑油的减摩抗磨性能最佳。

纳米添加剂会增加润滑油的黏度,黏度的增加又会使油膜厚度增加,从而减小摩擦因数;但同时润滑油黏度的增加又会增大阻力,使摩擦因数增大。因此,当纳米添加剂含量适中时,润滑油才能取得最好的减摩抗磨效果^[15]。

当润滑油中钛基纳米添加剂的含量为 0.25% 时,摩擦副间的摩擦因数和钢球表面磨斑直径均明显小于基础油工况,这表明加入少量钛基纳米粒子就可以提高润滑油的减摩抗磨性能。当添加剂含量为 0.5% 时,纳米 TiO₂、TiN、TiC 添加剂的 3 种润滑油的摩擦因数相比于基础油的摩擦因数依次降低了为 34.6%、19.8%、6.9%。同时,磨斑直径依次降低了 20.4%、14.2%、5.5%。当纳米添加剂含量为 1.0% 时,纳米 TiC 工况下摩擦因数和磨斑直径均高于基础油工况,

纳米 TiO₂ 和 TiN 工况下摩擦因数和磨斑直径相对于基础油工况减小不明显。这说明过量的纳米粒子反而不利于提高润滑油性能,随着纳米颗粒含量增加,基础油的黏度增大,颗粒之间相互的阻力相应提高,同时纳米颗粒添加量的增加影响其在润滑油中的分散稳定性,纳米微粒含量过高易发生团聚现象,阻碍纳米颗粒进入摩擦副表面,导致润滑油的润滑性能降低,摩擦因数增加。

从图 1 中还可以看出,纳米添加剂 TiO₂ 的减摩抗磨性能优于其他两种纳米添加剂。

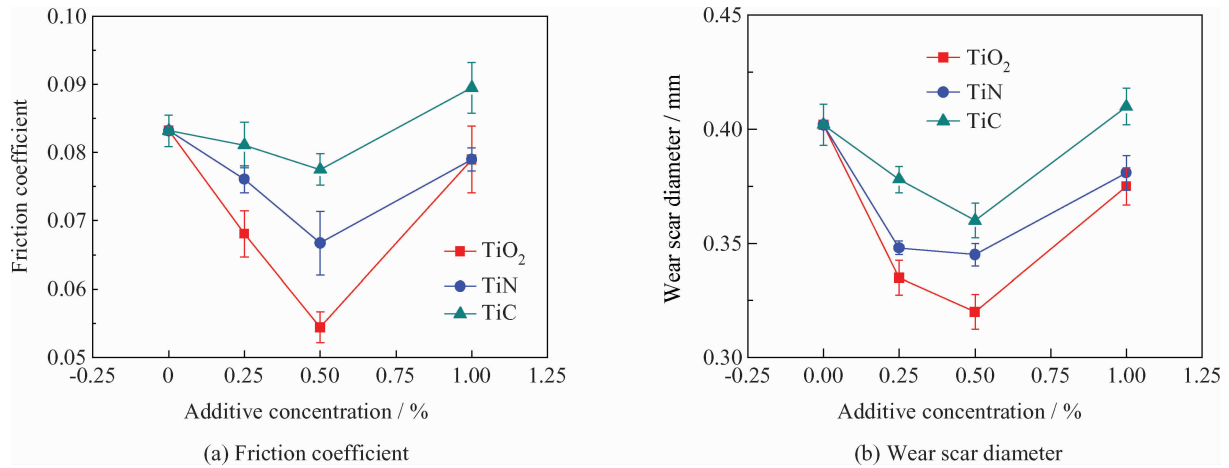


图 1 摩擦因数和磨斑直径随添加剂质量分数的变化

Fig. 1 Variation of the friction coefficient and wear scar diameter with different mass fractions of additives

图 2 为在 0.5% 钛基纳米的润滑油工况下摩擦因数随时间变化。由图 2 可以看出,在相同工况下,纳米润滑油添加剂的摩擦因数小于基础油。在基础油工况下,其摩擦因数最高并且具有较小的波动性。在其他 3 种纳米添加剂工况下,其摩擦因数先急剧上升达到最大值,然后迅速下降

并保持相对稳定的状态。对于纳米 TiN 来说,0~30 min,由于摩擦面的接触不好,有粘滑振动;之后摩擦面相适应,摩擦面变得平稳。摩擦因数的关系为: $f_{\text{Base oil}} > f_{\text{TiC}} > f_{\text{TiN}} > f_{\text{TiO}_2}$ 。

2.2 载荷和转速对摩擦学性能的影响

在四球试验机上测试的润滑油,在高载荷和高转速时,容易发生卡咬。因此,为了评估润滑油添加剂的效果应该研究载荷和转速对纳米润滑油摩擦性能的影响^[16]。

图 3 为不同载荷下摩擦因数和磨斑直径的变化规律,从中可以看出,在含有钛基纳米润滑油工况下,摩擦因数和磨斑直径在所有载荷下均低于基础油;且随载荷增加,摩擦因数和磨斑直径增加。纳米 TiO₂、TiN、TiC 的平均摩擦因数较基础油依次降低了 25.4%、16.5% 和 8.6%,平均磨斑直径依次减小了 15.1%、11.9% 和 3.8%。

图 4 为不同转速下摩擦因数和磨斑直径变化规律。含有纳米添加剂的润滑油工况时,摩擦因数和磨斑直径明显小于基础油工况。且随速

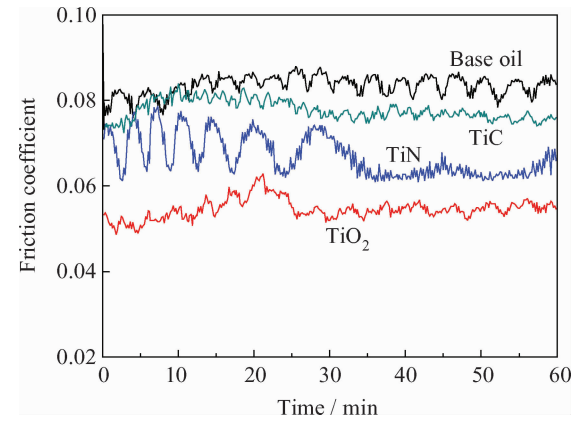


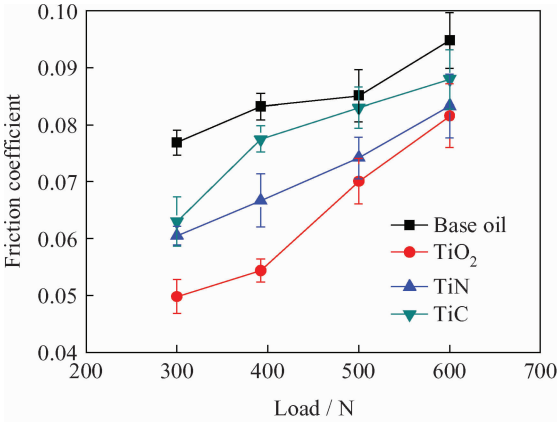
图 2 摩擦因数随时间的变化

Fig. 2 Variation of the friction coefficient with the time

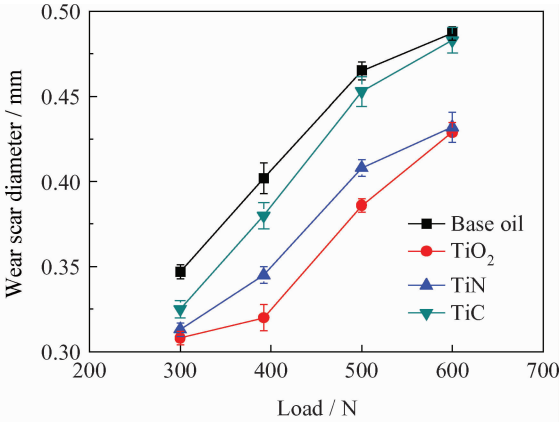
度增加,摩擦因数和磨斑直径均呈现增加趋势。纳米 TiO_2 、 TiN 、 TiC 的平均摩擦因数较基础油依次降低了 24.6%,14.1%,6.1%,平均磨斑直径依次减小了 11.7%,8.6%,2.4%。

试验表明,在低载、低速和高载、高速条件下

含有钛基纳米的润滑油都具有较好的减摩抗磨性能。摩擦因数和磨斑直径大小关系均为:基础油>纳米 TiC >纳米 TiN >纳米 TiO_2 。这说明纳米 TiO_2 润滑油拥有更佳的抗磨性能,具有工业应用潜力。



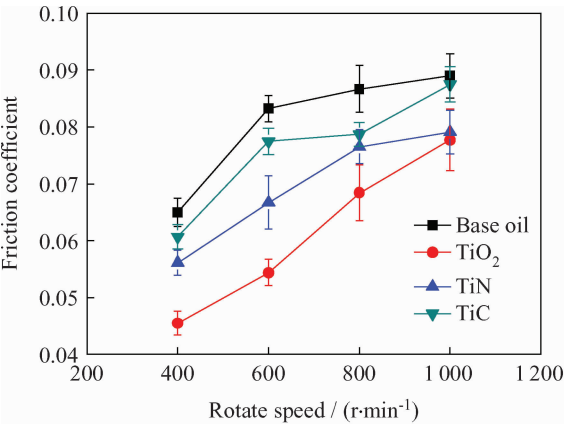
(a) Friction coefficient



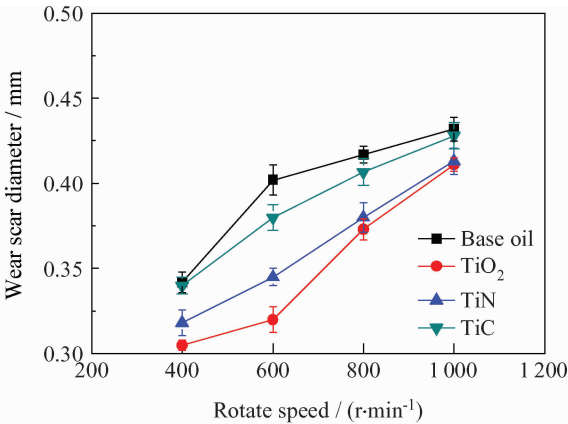
(b) Wear scar diameter

图 3 不同载荷下摩擦因数和磨斑直径的变化

Fig. 3 Variation of the friction coefficient and wear scar diameter under different load



(a) Friction coefficient



(b) Wear scar diameter

图 4 不同转速下摩擦因数和磨斑直径变化

Fig. 4 Variation of the friction coefficient and wear scar diameter under different rotational speed

2.3 纳米添加剂对自修复性能的影响

图 5 为添加钛基纳米添加剂的钢球磨痕和 EDS 能谱。从图中可以看出,在基础油润滑条件下磨斑表面犁沟较深(图 5(a₁)),磨损表面有明显的划伤迹象。对于图 5(a₂),摩擦表面的平均犁沟深度为 1 887 nm。而在含有质量分数为 0.5% 的 3 种钛基纳米的润滑油工况下,磨斑表面相对平整,只有轻微的擦伤(图 5(b₁)~(d₁))。对于图 5(b₂)~(d₂),摩擦表面的平均犁沟深度

分别为 1 146、957 和 1 467 nm。这表明当钛基纳米作为添加剂时,润滑油有良好的抗磨性能。另外,磨斑表面在纳米 TiN 工况下比纳米 TiO_2 和纳米 TiC 工况下更加平整。

纳米微粒在摩擦过程中,能有效补偿金属磨损,且纳米添加剂附在抛光后的摩擦表面,能有效降低摩擦因数,承载时接触面的压应力会更小,可相应提高润滑油的承载能力。对表面较粗糙的摩擦副而言,纳米添加剂的机械抛光机理对润滑油摩擦学性能的改善并不明显,因为与摩擦

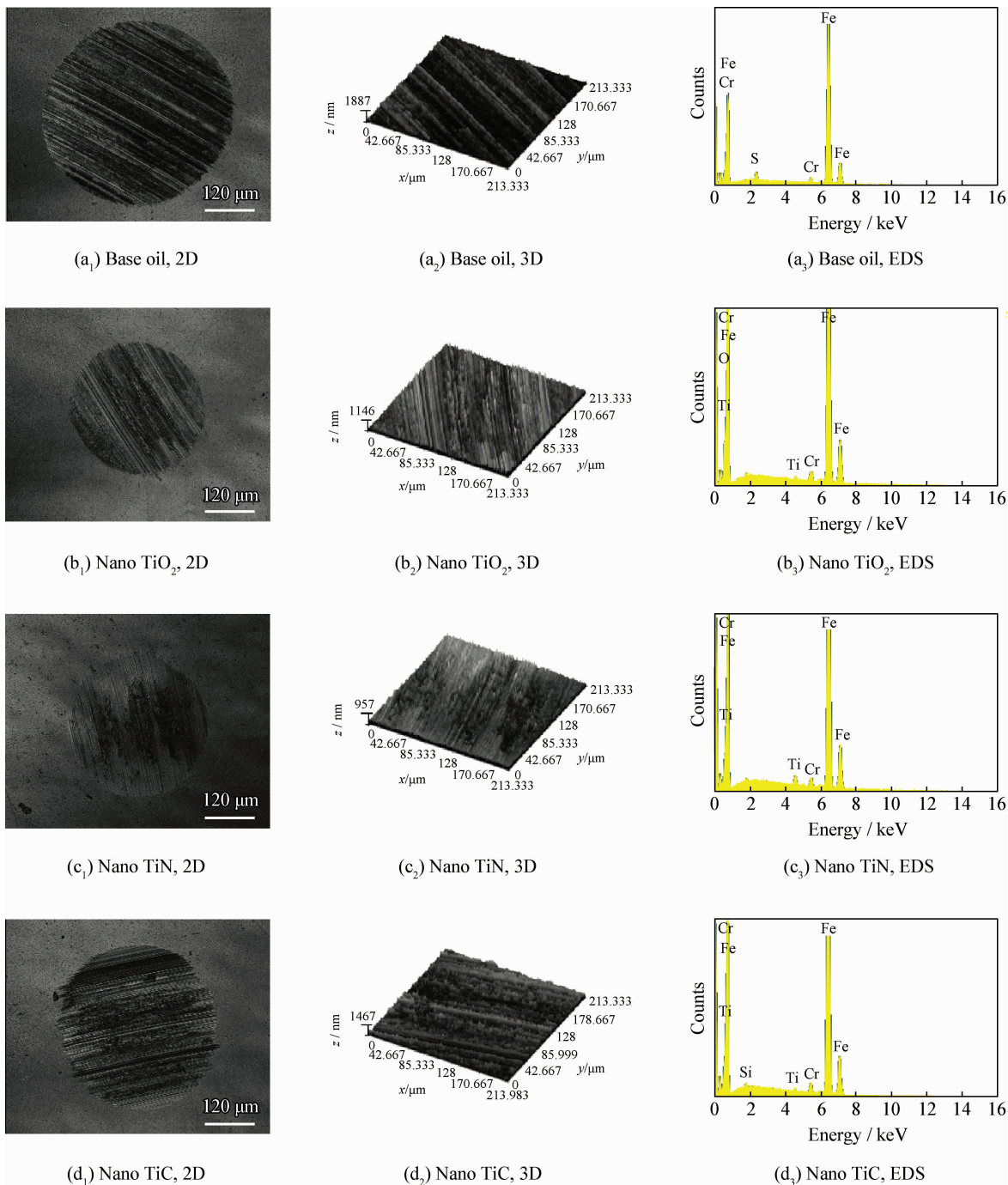


图 5 0.5% 钛基纳米添加试样摩擦表面磨痕形貌和 EDS 能谱

Fig. 5 Wear scar morphologies and EDS spectra of the worn surface of the samples with 0.5% Ti-base nanometer additive

表面突峰尺寸相比,纳米添加剂粒子尺寸太小,它只能通过对表面原子产生原子级弹性破坏等作用来抛光摩擦副表面的纳米级凸峰^[17]。

由图 5(a₃)~(d₃)EDS 分析结果得到的 0.5% 钛基纳米添加试样磨斑表面主要元素的质量分数(见表 1)。从表中可以看出,在钢球的磨斑中检测到 Fe、Ti、Cr、Si、S 和 O 元素的存在,其

中 Fe、Cr 和 Si 来自于钢球本身,而 Ti 与 O 来自于润滑油添加剂中的 TiO₂、TiN 和 TiC。3 种纳米添加剂不同程度参与了钢球摩擦表面的自修复膜层生成反应,起到对磨损失重的补偿作用。在含有 TiN 的油样中,磨斑的 Ti 含量为 1.12%,在 TiC 的油样中磨斑的 Ti 含量为 0.56%,而在 TiO₂ 油样中则磨斑的 Ti 含量为 0.41%。

表 1 0.5% 钛基纳米添加试样磨斑表面主要元素 EDS 分析

Table 1 EDS analysis of the main elements of worn surfaces with 0.5% Ti-base nanometer additive samples (w/%)

Element	Fe	Ti	Cr	Si	O	S
Base oil	96.71		1.70			1.59
Nano TiO ₂	92.37	0.41	1.69		5.53	
Nano TiN	97.36	1.12	1.52			
Nano TiC	97.18	0.56	1.81	0.45		

在基础油工况下钢球表面没有检测到 Ti 元素,而在含纳米添加剂工况下钢球磨斑表面处能检测到 Ti 元素。由此可见,在含纳米添加剂的工况下发生了材料转移,即添加剂颗粒补偿到了已磨损的部位^[18]。此外,纳米添加剂加入润滑油中,摩擦副发生剧烈的摩擦磨损时,摩擦表面产生局部高温和巨大应力,一部分微凸体的塑性变形和断裂甚至会引发很高的闪温,闪温使部分润滑油和添加剂分解生成裂解链。摩擦副表面上产生的细小磨屑有一部分与裂解链结合,填回凹坑,修补磨损部位,以实现自修复功能^[19]。从图 5(b₂)~(d₂)看出,对 3 种钛基纳米添加剂而言,移动吸附、裂解链和磨屑结合的程度各有差别,其钢球表面的形貌也各不相同。在纳米 TiN 添加剂的润滑油中产生的裂解链较纳米 TiO₂、TiC 多,裂解连与磨斑表面的细小磨屑结合程度更大,自修复效果更为显著。

3 结 论

- (1) 具有合理质量分数钛基纳米的润滑油可以有效降低材料的摩擦因数和磨斑直径,当钛基纳米的质量分数为 0.5% 时,具有最佳的减摩抗磨效果,其中纳米 TiO₂ 的减摩抗磨效果优于其他两种添加剂。
- (2) 当添加剂质量分数为 0.5% 时,钛基纳米添加剂在不同载荷和转速下均具有良好的减摩抗磨性能。且随着载荷和转速的增加,摩擦因数和磨斑直径均呈现增加趋势。
- (3) 质量分数为 0.5% 的 3 种钛基纳米添加剂都具有一定的自修复性能,纳米 TiN 的自修复能力优于其他两种添加剂。

参考文献

- [1] 肖舟, 苏勋家, 侯根良, 等. 蛇纹石粉体的水热合成及其摩擦学性能 [J]. 润滑与密封, 2012, 37(10): 45-49.
Xiao Z, Su X J, Hou G L, et al. Synthesis and tribological properties of serpentine powders by hydrothermal method [J]. Lubrication Engineering, 2012, 37(10): 45-49 (in Chinese).
- [2] Qi X W, Lu L, Jia Z N, et al. Comparative tribological properties of magnesium hexasilicate and serpentine powder as lubricating oil additives under high temperature [J]. Tribology International, 2012, 49, 53-57.
- [3] 张博, 徐滨士, 许一, 等. 润滑剂中微纳米润滑材料的研究现状 [J]. 摩擦学学报, 2011, 31(2), 194-204.
Zhang B, Xu B S, Xu Y, et al. Research status of micro and nano materials in lubricating additives [J]. Tribology, 2011, 31(2): 194-204 (in Chinese).
- [4] Tang Z L, Li S H. A review of recent developments of friction modifiers for liquid lubricants (2007 - present) [J]. Current Opinion in Solid State & Materials Science, 2014, 18(3): 119-139.
- [5] Zeng Q F, Yu F, Dong G N. Superlubricity behaviors of Si₃N₄/DLC Films under PAO oil with nano boron nitride additive lubrication [J]. Surface and Interface Analysis, 2013, 45(8): 1283 -90.
- [6] Mohan N, Sharma M, Singh R C. Review of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives [C]. International Conference of Advance Research and Innovation, 2014, 400-404.
- [7] Yu H, Xu Y, Shi P, et al. Microstructure, mechanical properties and tribological behavior of tribofilms generated from natural serpentine mineral powders as lubricant additive [J]. Wear, 2013, 297: 802-810.
- [8] Zhao Y B, Zhang Z J, Dang H X. Fabrication and tribological properties of Pb nanoparticles [J]. Journal of Nanoparticle Research, 2004, 6(1): 47-51.
- [9] Hu Z S, Lai R, Lou F, et al. Preparation and tribological properties of nanometer magnesium borate as lubricating oil additive [J]. Wear, 2002, 252(5/6): 370-374.
- [10] 李斌, 谢凤, 张蒙蒙, 等. 纳米二硫化钼作为润滑油添加剂的摩擦学性能研究 [J]. 润滑与密封, 2014, 39(9): 91-95.
Li B, Xie F, Zhang M M. Study on tribological properties of Nano-MoS₂ as additive in lubricating oils [J]. Lubrication Engineering, 2014, 39(9): 91-95 (in Chinese).
- [11] 郑普生. 聚乙二醇中纳米硫的自组装和表面改性及其抗菌性能研究 [D]. 广州: 暨南大学, 2011.
Deng P S. Self-assembly and surface modification of sulfur nanoparticles in polyethylene glycol (PEG) and its antibacterial activities [D]. Guangzhou: Jinan University, 2011 (in Chinese).
- [12] 李超, 杜建华, 韩文政. 聚乙二醇对纳米 SiO₂ 水悬浮液分散稳定性的影响 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2007, 6(3): 74-77.

Li C, Du J H, Han W Z. Effects of polyethylene glycol on stability of nano silica in aqueous suspension [J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2007, 6(3): 74-77 (in Chinese).

[13] 王李波, 冯大鹏, 刘维民. 几种纳米微粒作为锂基脂添加剂对钢-钢摩擦副摩擦磨损性能的影响研究 [J]. 摩擦学学报, 2005, 25(2): 117-110.

Wang L B, Feng D P, Liu W M. Tribological properties of a steel-steel pair under the lubrication of lithium grease containing various nano-particulates as additives [J]. Tribology, 2005, 25(2): 117-110 (in Chinese).

[14] 梁秀娟. 外电场辅助沉淀法合成纳米氧化锌颗粒及其应用于润滑剂的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013.

Liang X J. Electric field-assisted synthesis of ZnO nanoparticles in precipitation and application of lubricate additives [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013 (in Chinese).

[15] Wu Y Y, Tsui W C, Liu T C. Experimental analysis of tribological properties of lubricated TiN oils with nano particle additives [J]. Wear, 2007, 262(7): 819-825.

[16] 张春丽. 铜及硫化银纳米添加剂摩擦学性能研究 [D]. 开封: 河南大学, 2013.

Zhang C L. Tribological properties of copper and silver sulfide nanomaterials as lubricant additives [D]. Kaifeng: Henan University, 2013 (in Chinese).

[17] 吴雪梅, 周元康, 杨绿, 等. 纳米坡缕石/铜复合材料对钢球摩擦副的摩擦学性能 [J]. 复合材料学报, 2014, 31(2): 441-447.

Wu X M, Zhou Y K, Yang L. Tribological properties of nano-palygorskite/composites as lubricant additive to steel ball pair [J]. Acta Materialia Composita Sinica, 2014, 31(2): 441-447 (in Chinese).

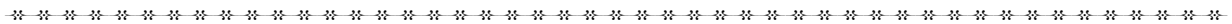
[18] 李征, 王文健, 刘启跃. 纳米添加剂对 GCr15/1045 钢摩擦磨损性能的影响 [J]. 中国表面工程, 2011, 2(6): 69-72.

Li Z, Wang W J, Liu Q Y. Effect of nano-additive on friction and wear performance of GCr15/1045 steels [J]. China Surface Engineering, 2011, 2(6): 69-72 (in Chinese).

[19] 顾艳红. 新型陶瓷润滑油添加剂的应用与作用机理 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2005.

Gu Y H. Research on application and mechanism of new-type cermet [D]. Beijing: China University of Geosciences, Beijing, 2005 (in Chinese).

(责任编辑: 常青)



• 学术动态 •

第十八届全国疲劳与断裂学术会议将在郑州召开

第十八届全国疲劳与断裂学术会议将于 2016 年 4 月 15—17 日在郑州召开。会议由中国机械工程学会和郑州大学承办, 将为该领域的专家学者提供一个全面的研讨交流平台, 推动我国疲劳断裂领域的理论研究和应用技术, 服务国家建设和社会发展。欢迎全国从事相关领域研究和应用的专家学者以及高校、科研院所、企业等单位积极参与会议交流和研讨。

会议论文征集范围包括: 疲劳与断裂力学、疲劳与断裂物理、复杂环境下的材料失效与破坏、典型材料与结构的破坏理论研究、重大装备的疲劳与断裂工程应用、航空航天中的疲劳与断裂工程应用、疲劳与断裂理论的其他典型工程应用。

论文摘要请通过会议网站(<http://116.255.252.25:1010/ncff2016/index.aspx>)的投稿系统提交, 摘要字数请限制在 1000 字以内, 摘要提交截止日期为 2015 年 10 月 31 日。通过论文摘要审核的作者将收到组委会发出的提交全文通知, 全文接收的截止日期为 2016 年 2 月 15 日, 全文篇幅一般不超过 5000 字。会议将提供摘要集和论文全文光盘, 供与会者交流。欢迎全国从事相关专业的专家学者、科研人员、工程技术人员、高校师生踊跃投稿。

(摘自 中国机械工程学会网)