

超声振动对 GCr15/45 钢摩擦副油润滑下的摩擦磨损性能影响^{*}

杨善林, 臧 艳, 乔玉林, 董新宇

(装甲兵工程学院 再制造技术重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 在超声振动摩擦磨损实验仪上考察了超声振动对 GCr15/45 钢摩擦副油润滑下的减摩抗磨性能影响, 初步探讨了在超声振动下摩擦磨损机制。结果表明, 超声振动作用下 45 钢表面的质点会产生振动, 减小了摩擦副间的正压力, 破坏了表面油膜的形成影响摩擦副间的减摩抗磨性能。在所选试验载荷范围内, 超声振动均可以不同程度的改善摩擦副的减摩抗磨性能, 其中载荷为 40 N 时, 超声振动对摩擦副的减摩抗磨性能改善最显著, 摩擦因数和磨损体积比没有超声振动时分别降低了 10% 和 49%。超声振动没有改变 GCr15/45 钢摩擦副的磨损机制, 但可以减轻磨粒磨损程度。

关键词: 超声振动; 油润滑; 减摩抗磨性能; 磨粒磨损

中图分类号: TG115.58

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2011)04-0043-04

Influence of Ultrasonic Vibration on Friction and Wear Properties of GCr15/45 Steel Frictional Pairs Under Oil Lubrication

YANG Shan-lin, ZANG Yan, QIAO Yu-lin, DONG Xin-yu

(Science and Technology on Remanufacturing Laboratory, Academy of Force Engineering, Beijing 100072)

Abstract: The effect of ultrasonic vibration on friction and wear properties of GCr15/45 steel frictional pairs under oil lubrication was studied by ultrasonic vibration friction and wear tester. And the mechanism of friction and wear of samples under ultrasonic vibration was discussed. The experiment results showed that, the ultrasonic vibration could influence the friction reduction and anti-wear properties of frictional pairs due to it could reduce the stress between friction pairs and destroy the oil film on the surface of samples. The ultrasonic vibration could obviously improve the antifriction and wear resistance behavior of GCr15/45 friction pairs when the load was 40 N, and the friction coefficient and wear volume 10% and 49% lower than it attained without ultrasonic vibration. Though the friction and wear mechanism of friction pairs was still abrasive wearing under ultrasonic vibration, the degree of abrasive wearing was abated by ultrasonic vibration.

Key words: ultrasonic vibration; oil lubrication; antifriction and wear resistance; abrasive wearing

0 引 言

据资料统计, 摩擦引起的能源消耗大于 30%, 70% 以上的设备故障源于磨损引起的零件失效^[1]。润滑是减少材料摩擦磨损最为有效的技术之一, 例如液体润滑。研究发现, 振动可以改变摩擦副的摩擦状态, 从而使摩擦副间的摩擦因数降低^[2]。超声振动作为一种特殊形式的振动, 其对摩擦影响的研究, 已引起很多学者的关注。Maeno 在研究超声马达时发现^[3], 代入理论公式中动、静摩擦因数要低于普通摩擦试验测得

的值, 才能得到与试验结果一致的结论, 可见超声波驱动下, 定子和转子间的动摩擦因数降低了。熊田明生教授^[4]认为, 由于超声振动产生悬浮作用, 可使摩擦阻力降低至原有的 1/10~1/30 左右。吴博达等人^[5]研究发现, 超声振动可以使金属材料和非金属材料摩擦因数迅速下降, 其中金属材料的摩擦因数降低更为显著。

目前, 国内外关于油润滑减摩和超声振动减摩的研究往往是各自分离的, 超声振动和润滑油耦合作用下的摩擦副间的减摩抗磨性能的研究还未见相关报导。文中考察了油润滑和超声振动耦合作用时, 不同条件下 GCr15/45 钢摩擦副间的摩擦磨损性能变化, 初步探讨了其超声振动

收稿日期: 2011-04-11; 修回日期: 2011-05-30

基金项目: * 国家自然科学基金(51075397)

作者简介: 杨善林(1986—), 男(汉), 云南怒江人, 硕士生。

减摩机理。

1 试验材料和方法

摩擦副上试样为 $\Phi 6$ mm 的 GCr15 圆球, 硬度为 770 HV, 下试样为 $\Phi 25.4$ mm $\times$ 6 mm 的 45 钢圆块, 硬度为 48~50 HRC。润滑油为液体石蜡。

试验是在经超声振动改造的 MFT-R4000 往复摩擦磨损实验仪上进行, 其原理示意图如图 1 所示。通过在油槽壁上加装超声换能器, 在超声电源的激励下, 超声换能器产生超声振动, 进而引起油槽、下摩擦副和石蜡润滑油产生超声振动, 从而使摩擦副的摩擦处于油润滑和超声振动耦合作用环境中。摩擦时上摩擦副固定不动, 下摩擦副相对其作往复滑动。试验参数为: 室温, 油槽中石蜡润滑油为 20 mL, 摩擦频率为 2 Hz, 摩擦时间为 30 min, 载荷加载方式选择 MFT-R4000 往复摩擦磨损试验仪的自动加载模式, 载荷分别选择 30 N、40 N、50 N 和 60 N, 超声振动频率为 40 kHz。

采用荷兰 PHILIPS 公司生产的 Quanta 200 型环境扫描电子显微镜 (SEM), 对 45 钢试样磨损表面的磨痕形貌进行分析。采用日本 KEYENCE VK-9700K 型高精度数码显微镜测量磨痕的体积磨损量和三维形貌。

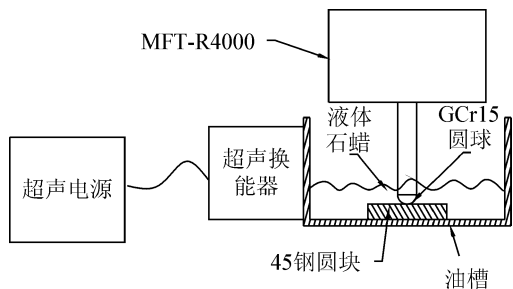


图 1 超声振动摩擦实验原理示意图

Fig. 1 The principles of friction and wear experiment under ultrasonic vibration

2 结果与讨论

2.1 超声振动对 GCr15/45 钢摩擦副油润滑下的摩擦磨损性能影响

图 2 为 40 kHz 超声振动对不同载荷作用下 GCr15/45 钢摩擦副油润滑下的摩擦因数影响。可以看出, 超声振动下获得的摩擦因数均小于不

加超振动时的摩擦因数, 试验载荷分别为 30 N、40 N、50 N、60 N 时, 超声振动使摩擦副间的摩擦因数分别降低了 3%、10%、9%、7%。说明在试验载荷范围内, 超声振动都可以降低摩擦副间的摩擦因数, 其中在载荷为 40 N 和 50 N 时减摩效果最为明显。

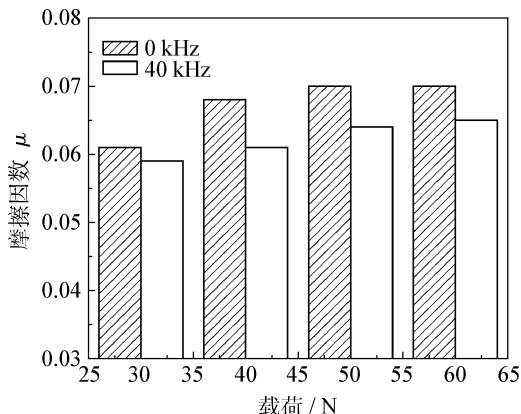


图 2 超声振动对不同载荷下 GCr15/45 钢摩擦副油润滑下的摩擦因数的影响

Fig. 2 The effect of ultrasonic vibration on friction coefficient of GCr15/45 steel frictional pairs under oil lubrication and different loads

图 3 对比了有超声振动和没有超声振动的不同情况下摩擦副的磨损体积。可以看出, 超声振动对 GCr15/45 钢摩擦副油润滑下的体积磨损量有不同程度的影响, 其中载荷在 40 N 和 50 N 时对磨损体积影响最为显著。如载荷为 40 N 时, 不加超声振动时的磨损体积量为 $37.1 \times 10^6 \mu\text{m}^3$, 在超声振动下的磨损体积量为 $18.9 \times 10^6 \mu\text{m}^3$, 超声振动使体积磨损量降低了 49%。

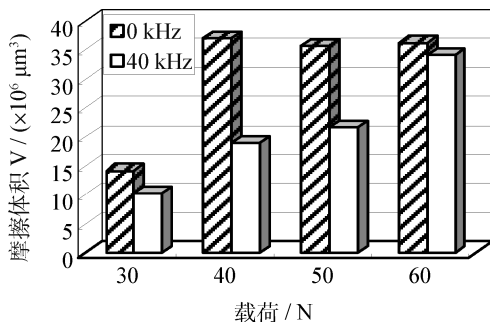


图 3 超声振动对不同载荷下 GCr15/45 钢摩擦副油润滑下的磨损体积的影响

Fig. 3 The effect of ultrasonic vibration on wear volume of GCr15/45 steel frictional pairs under oil lubrication and different loads

2.2 磨痕表面形貌分析

图 4 给为载荷为 40 N 时,有和无超声振动作用下 45 钢摩擦副磨痕表面形貌。图 4(a)可以看出,没有超声振动时,磨痕表面有大量宽而深的犁沟,磨损比较严重,是典型的磨粒磨损。图 4(b)可以看出,加入超声振动后,磨痕表面比较光滑,表面犁沟浅且窄。

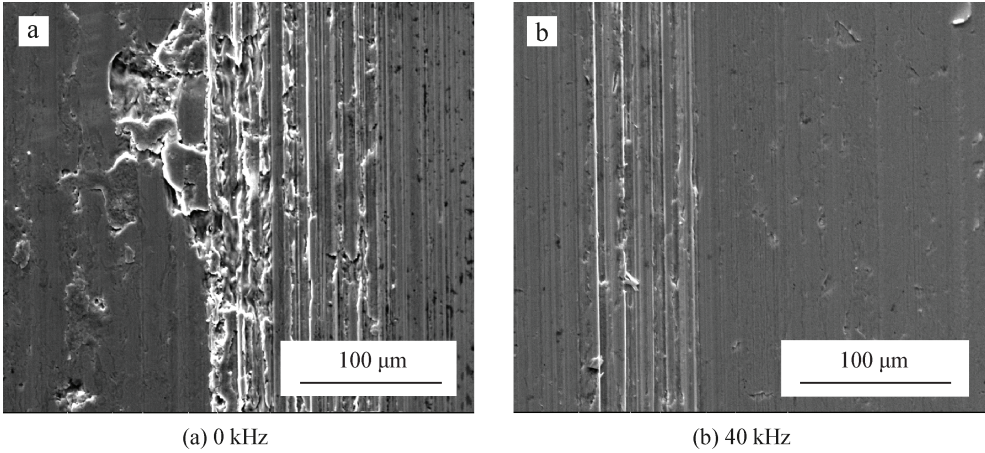


图 4 40 N 时有和无超声振动下 45 钢摩擦副磨痕表面形貌 SEM 图

Fig. 4 SEM micrographs of 45 steel friction pairs under 40N with or without ultrasonic vibration

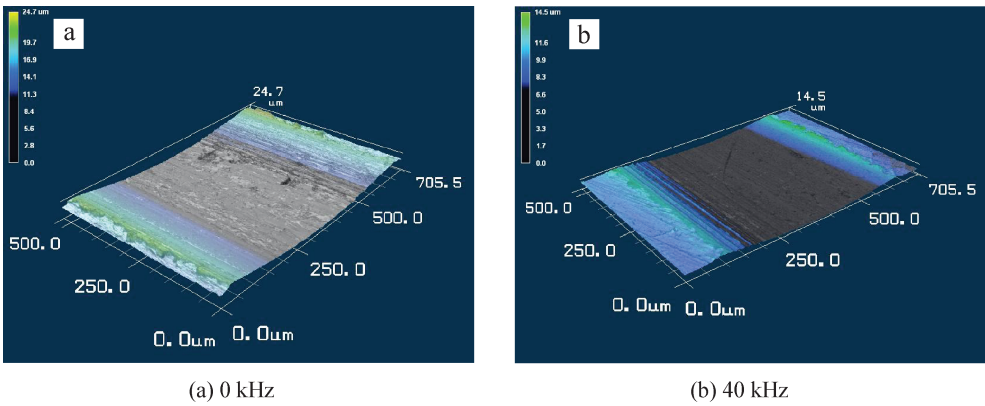


图 5 40 N 时有和无超声振动下 45 钢摩擦副表面磨痕形貌三维照片

Fig. 5 3d shape of the surface of 45 steel friction pairs under 40 N with or without ultrasonic vibration

2.3 超声振动作用的减摩机理分析

如图 6 所示,在正压力 F 作用下,45 钢以滑动速度 V 在 GCr15 的表面上作相对滑动。当超声波传递到 45 钢表面时,45 钢表面的质点就会按椭圆轨迹在表面进行振动,其振动方向为椭圆的切线方向,原本平坦的表面就会变得波浪起伏^[6-8]。将摩擦副接触区的某一点沿椭圆切线的振动分解为横向振动和纵向振动。纵向振动对 GCr15 产生垂直向上的力,可以减少 45 钢表面

图 5 为 40 N 时有和无超声振动下磨痕表面的三维形貌图。图 5(a)可以看出,没有超声振动时,磨痕的深度为 24.7 μm,表面凹凸不平;在 40 kHz 超声振动下,磨痕深度为 14.5 μm,表面平坦光滑。这说明摩擦副表面质点的振动阻止了 GCr15 表面的微凸体挤压到 45 钢的表面,切削深度减小,减轻了 45 钢的磨损。

所承受的正压力,从而使摩擦力减小^[9]。

在低速重载下时,摩擦副处于边界润滑状态,此时润滑油膜极薄,摩擦表面有部分微凸体相互接触^[10]。加入超声振动后,摩擦副表面质点产生的振动会部分破坏表面油膜的形成,对摩擦副的摩擦磨损产生不利影响。但是,超声振动可以减小摩擦副表面的正压力,有利于减小摩擦副的摩擦力。所以,在超声振动和油润滑条件下,摩擦副同时受到这两种作用的共同影响。当不

利影响小于有利影响时,摩擦副的摩擦磨损性能就能改善;当不利影响大于有利影响时,就会加剧摩擦副间的摩擦磨损。

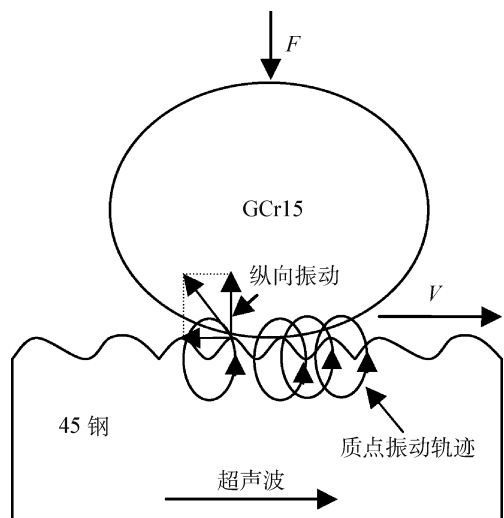


图 6 超声振动下摩擦副表面的受力状态

Fig. 6 The force state of the surface of friction pairs under ultrasonic vibration

当摩擦载荷较低时,摩擦副间的油膜厚度相对重载时要厚,油膜分布也较连续,摩擦副间的微凸体接触部分较少,此时摩擦副间的油膜起主导作用;加入超声振动后,虽然作用于摩擦副间的正压力减小了,但由于油膜被部分破坏,从而导致超声振动对摩擦副的减摩效果不是很明显。当载荷较高时,摩擦副间的油膜较薄,分布不连续,摩擦副微凸体直接接触的部分较大,使摩擦副处于边界润滑状态,油膜本身对降低摩擦因数的贡献较小。因而超声振动虽然破坏了油膜,但是摩擦副表面正压力的减小,会使摩擦力减小,从而摩擦因数有所降低。但若载荷太高,表面所受正压力太大,又会导致超声振动对摩擦副减小承受的正压力的贡献不大,因而对降低摩擦因数的效果不显著,当载荷为 40 N 时,超声振动和油润滑的耦合出现协同作用,导致 GCr15/45 钢摩擦副间的摩擦因数和磨损体积降低最为显著。

另外,GCr15 的硬度远大于 45 钢,当两摩擦副相对滑动时,GCr15 表面的微凸体将挤压入 45 钢的表面,起到磨粒作用,导致 45 钢表面材料的剥落。加入超声振动后,由于 45 钢摩擦副表面质点的振动,使得表面所承受的压力减小,从而减弱了 GCr15 表面微凸体的切削和挤压作用。此外,摩擦副表面质点的振动,使磨屑被迅速排除到摩擦界面之外,从而避免了磨屑的磨损^[11]。所以,在超声

振动下磨痕表面较光滑,表面犁沟浅而窄。

3 结 论

(1) 当超声振动通过 45 钢表面时,表面的质点产生的振动会减小摩擦副间的正压力和破坏表面油膜的形成,对摩擦副间的减摩抗磨性能产生影响。

(2) 在试验范围内,超声振动可以不同程度降低 GCr15/45 钢摩擦副间的摩擦因数,提高摩擦副的抗磨性能。其中 40 N 时超声振动对摩擦副的减摩抗磨性能的改善最为显著,摩擦系数和磨损体积分别降低了 10% 和 49%。

(3) 超声振动没有改变 GCr15/45 钢摩擦副的磨损机制,但可以有效的抑制磨粒磨损作用。

参考文献

- [1] 中国农业机械化科学研究院工艺材料研究所. 磨粒磨损与抗磨技术译文集 [M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1982.
- [2] 常颖. 超声波轴承悬浮与减摩作用机理及基础试验研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2005.
- [3] Maeno T, Tsukimoto T, Miyake A. Finite element analysis of the rotor/stator contact in a ring-type ultrasonic motor [J]. IEEE Trans. UFFC, 1992, 39(6): B668-674.
- [4] 熊田明生. 超声减摩性能的研究 [J]. 声光与电子工程, 1986, 5: 24-29.
- [5] 吴博达, 常颖, 杨志刚, 等. 超声振动减摩性能的实验研究及理论分析 [J]. 中国机械工程, 2004, 15(9): 813-815.
- [6] 指田年生. 超音波毛一步一 [J]. 应用物理(日), 1985, 54(6): 589-590.
- [7] Kumada A. A piezoelectric ultrasonic motor [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 1985, 24(2): 739-741.
- [8] Kurihayashi M, Ueha S, Mari E. Excitation conditions of flexural traveling waves for reversible ultrasonic liner motor [J]. J Acoust Soc Am, 1985, 77(4): 1431-1435.
- [9] 彭太江, 杨树臣, 杨志刚, 等. 超声波的减摩特性 [J]. 吉林大学学报, 2006, 36(2): 88-90.
- [10] 颜志光. 润滑材料与润滑技术 [M]. 北京: 中国石化出版社, 1999.
- [11] 曲建俊, 齐毓霖, 等. 超声马达摩擦学及其摩擦材料研究进展 [J]. 摩擦学报, 1998, 18(1): 80-87.

作者地址: 北京市丰台区长辛店杜家坎 21 号 100072
Tel: (010) 6671 7416
E-mail: 3283234@163.com