

电极电势对氮化硅/黄铜滑动摩擦副 摩擦磨损性能的影响研究

常秋英, 孟永钢, 温诗铸

(清华大学 摩擦学国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 在自制摩擦磨损试验机上考察了黄铜表面电极电势的变化对氮化硅/黄铜滑动摩擦副摩擦磨损特性的影响。结果表明, 在不同的电势区间内, 摩擦系数表现出不同的变化趋势, 特别是在 $-1.4 \sim -1.0$ V 电势区间内摩擦系数表现出可控性。利用扫描电子显微镜观察发现, 在摩擦系数可控区摩擦系数有所增大但磨损并未加剧。根据黄铜在润滑液中的循环伏安曲线可以初步推断, 在不同的电势区间内, 电化学反应的不同是引起摩擦系数变化的主要原因。

关键词: 摩擦系数; 电极电势; 电化学; 陶瓷

中图分类号: TH117.3

文章标识码: A

文章编号: 1004-0595(2002)05-0373-04

通过外加电场来改变摩擦副的摩擦磨损特性并将其应用于工程实际一直是人们的梦想。一百多年前 Edison 首次发现外加电压可以改变金属/白垩间的摩擦系数, 此后相关的研究报道不断出现^[1~5]。近年来, 随着电化学学科的发展, 用电化学手段控制摩擦副的表面电势从而获得所需的摩擦磨损特性引起了人们的兴趣^[6,7]。在摩擦学领域里, 电化学手段多被用于研究金属的腐蚀磨损, 此类研究着重考察作为阳极的金属在不同电位时的摩擦磨损特性^[8]。迄今对金属作为阴极时摩擦磨损特性随电极电势的变化研究还很少。因此, 本文全面考察了在硬脂酸钠水溶液润滑下, 氮化硅/黄铜摩擦副中黄铜表面的正负电极电势对摩擦磨损特性的影响。

1 实验部分

1.1 设备和试样

摩擦副采用商用氮化硅陶瓷球($\phi 8$ mm)和 HT68 黄铜块(60 mm × 20 mm × 12 mm), 黄铜的粗糙度 R_a 为 $1.6 \mu\text{m}$ 。润滑液采用 0.05 mol/L 的硬脂酸钠水溶液, 为增强导电性加入浓度为 0.01 mol/L 的硫酸钠, 所有试验都在自制的往复摩擦磨损试验机上进行。计算机控制的 3 维工作台可实现 3 维运动, 通过垂直方向的运动来施加载荷。摩擦副中的下试件(铜块)固定在由绝缘材料制成的电解槽中, 上试件(氮化硅球)

通过绝缘夹具固定在悬臂梁上。通过悬臂梁上 2 组应变片测量载荷和摩擦力, DH5935 型动态应变仪将测量值直接输入到计算机中实时显示。铜块表面的电极电势由 CH I660A 型电化学工作站控制, 同时实时采集电流的变化。采用 CH II15 铂丝对电极, 参考电极采用 232 型甘汞电极。

1.2 试验方法

测量不同电极电势下氮化硅/黄铜间的摩擦系数。为增强可比性, 固定试验载荷为 9.8 N , 摩擦副间的相对滑动速度为 0.3 mm/s 。试验前将陶瓷球和黄铜块放入丙酮中超声清洗 10 min 左右, 置于空气中晾干后分别固定在电解槽和悬臂梁上。偶件间摩擦达稳定状态后开始记录试验数据, 每次试验记录 20 个循环的摩擦状况。首先记录偶件在开路电压下相对滑动 2 个循环时的摩擦状况; 然后控制黄铜电极电势为设定值再摩擦 16 个循环, 同时记录摩擦力数据。随后关闭电化学工作站, 在开路电压下再摩擦 2 个循环后结束记录。更换新处理过的陶瓷球和黄铜块继续测量另一电极电势下的摩擦系数。将摩擦后的试件超声清洗晾干后, 用 CSM 950 型扫描电子显微镜(SEM)观察磨痕形貌。

2 结果与讨论

试验开始前测得黄铜试件在硬脂酸钠水溶液中

基金项目: 国家自然科学基金资助(59975048)。

收稿日期: 2001-11-21; 修回日期: 2002-03-15/联系人常秋英, E-mail: changqy@post.pim.tsinghua.edu.cn

作者简介: 常秋英, 女, 1972 年生, 博士生, 目前主要从事电控摩擦和润滑理论研究



的开路电压为 -0.544 V , 此电压是相对于甘汞电极的值。以下所有电极电势都是指相对于甘汞电极的值。为全面了解黄铜表面电极电势对摩擦系数的影响, 在 $-1.5\sim 1.5\text{ V}$ 电极电势区间内每隔 0.2 V 选取 1 个值, 测定该电极电势下的摩擦系数。选择几个典型电极电势下的摩擦系数值绘制成摩擦系数-电极电势曲线。

图 1 所示为氮化硅球与黄铜间的摩擦系数随黄

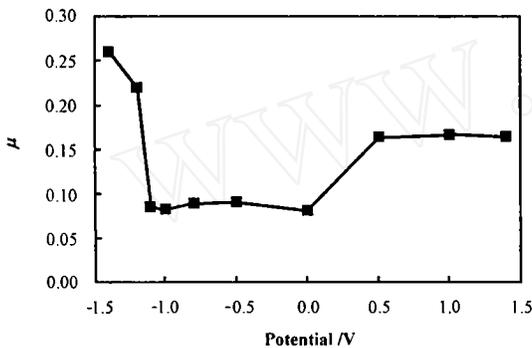


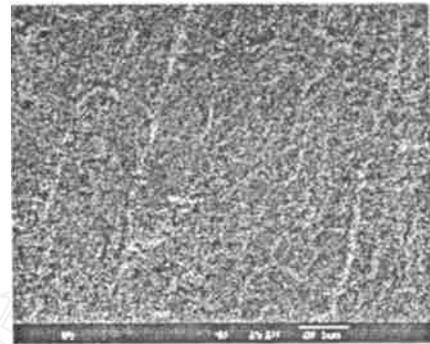
Fig 1 Effects of electrode potential on the dynamic friction coefficient

图 1 金属的电极电势对摩擦系数的影响

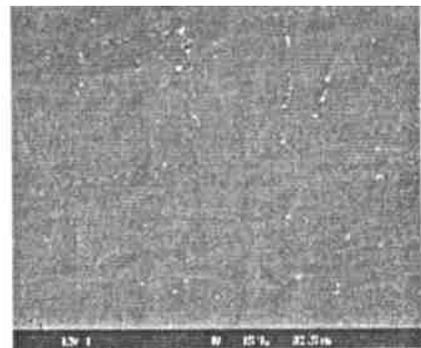
铜表面电极电势变化的情况, 曲线中各试验点上对应于每个电极电势的摩擦系数值都是摩擦副在该电势下的稳态摩擦系数值, 且摩擦系数具有良好的可重复性。从图 1 可知, 在开路电压即自然电位下氮化硅和黄铜的摩擦系数约为 0.09 , 试验测得氮化硅/黄铜摩擦副在蒸馏水中的摩擦系数约为 0.11 , 硬脂酸钠的加入使摩擦系数降低了 18% 。这是因为硬脂酸钠是一种表面活性剂, 长链的硬脂酸根离子很容易吸附于摩擦副表面而形成减摩薄膜。

以开路电压为起点, 电极电势增大或减小 0.5 V , 即在 $-1.0\sim 0.0\text{ V}$ 区间内, 摩擦系数无显著变化, 表明在此电极电势范围内黄铜表面的电荷状态对摩擦系数影响不大。电极电势大于 0.0 V 后摩擦系数很快升高到 0.16 附近, 且在此值附近保持稳定状态。电极电势向负区增大到 -1.0 V 后摩擦系数急剧升高, 并且在 $-1.4\sim -1.0\text{ V}$ 内摩擦系数的变化具有可控性。也就是说, 在该区间内摩擦系数随着电极电势的变化而变化, 当电极电势绝对值增大时摩擦系数随之增大; 令电极电势绝对值减小, 摩擦系数也随之降低; 电极电势超过 -1.4 V 后, 摩擦系数增大后不再具有恢复性。

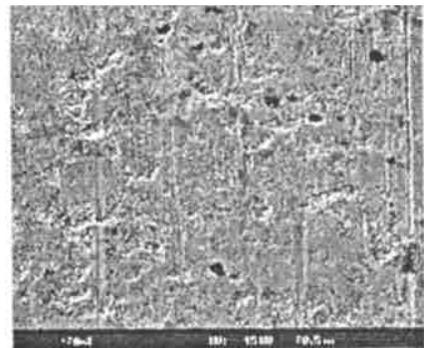
图 2 示出了黄铜试件磨痕形貌的 SEM 照片。观察图 2(a) 发现, 在阳极电势区黄铜表面粗糙不平, 这



(a) 0.5 V



(b) -1.2 V

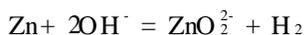


(c) -1.6 V

Fig 2 SEM morphologies of worn surfaces of brass specimen

图 2 不同电极电势下黄铜表面磨痕 SEM 照片

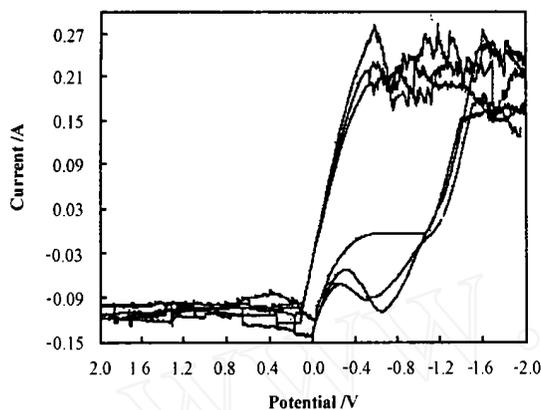
是由于黄铜发生氧化腐蚀而致。图 2(b) 是黄铜的电极电势为 -1.2 V 时的磨痕形貌 SEM 照片。与开路电压时相比, 尽管此时摩擦系数增大但磨痕仍然较为光滑。这与黄铜处于阳极氧化电势时的摩擦系数变化过程完全不同。在阳极氧化电势区, 摩擦系数增大是由于金属表面的腐蚀引起的, 这种表面破坏是不可恢复的, 因而摩擦系数也是不可控制的。当金属电极电势为 -1.6 V 时, 黄铜磨痕表面呈现严重腐蚀特征 [图 2(c)]。从黄铜的阴极扫描循环伏安 (图 3) 可知, 在如此高的还原电位下, 黄铜表面有大量的氢气析出, 造成 OH^- 富集, 使靠近金属表面上的 pH 值急剧升高, 黄铜中的两性金属锌发生“碱腐蚀”。



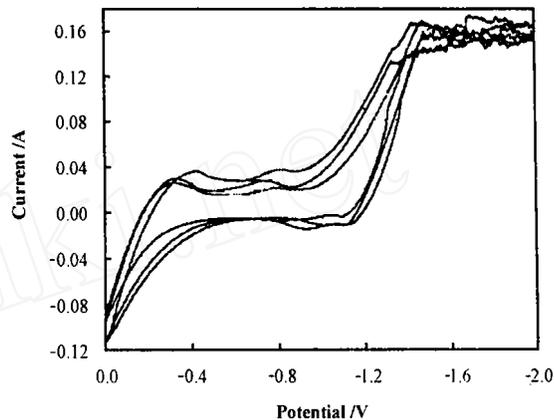
这种腐蚀作用使得黄铜表面发生严重破坏, 从而造成

摩擦系数增大, 磨损严重

为了检测电化学的变化对摩擦磨损的影响, 图3



(a) - 2.0 ~ 2.0 V



(b) - 2.0 ~ 0.0 V

Fig 3 Cyclic voltammograms of brass specimen in 0.02 mol/L sodium stearate

图3 黄铜在硬脂酸钠溶液中的扫描循环伏安图

示出了黄铜试件在硬脂酸钠溶液中的循环伏安图, 图3(a)的电势区间处于- 2.0~ 2.0 V 范围内。从图示曲线可以发现, 在大于0.0 V 的电极电势区间内无明显的电流峰出现, 此时铜的氧化反应占据了主要地位。由于黄铜氧化后表面出现点蚀, 故该区段的电流曲线不平滑。这也正是上述在大于0.0 V 的电势区间摩擦系数增大和磨痕粗糙的原因。在- 0.4~ 0.0 V 电势区间内电流与电势呈线性关系, 此时出现还原电流和氧化电流的转换。电势小于- 0.4 V 后电流开始震荡, 此时对应于氧化铜的还原、水的电解、黄铜中的两性金属锌的“碱腐蚀”以及对电极铂丝的氧化, 而不同电势下各反应速度不同。为排除铜氧化的干扰, 图3(b)给出了- 2.0 ~ 0.0 V 电势区间内的循环伏安图。可见, 只有在电极电势小于- 1.4 V 时才出现电流震荡, 说明黄铜中两性金属锌的“碱腐蚀”以及对电极铂丝的氧化只有在电势小于- 1.4 V 时才发生, 这就是摩擦系数在电极电势小于- 1.4 V 后增大且不具有恢复性的原因。由图3(b)还可以看出, 在- 1.0 ~ - 0.4 V 区间内水的电解反应是主要的电化学反应, 水的电解造成黄铜表面碱性升高。在- 1.0 ~ - 0.4 V 区间内电流迅速升高, 此时出现电化学反应的过渡, 即占主导地位的反应由电解水向铂丝的氧化转化, 恰恰在此过渡区间出现摩擦系数的可控现象, 具体原因尚待深入探讨。

3 结论

a 氮化硅/黄铜的摩擦磨损特性与黄铜表面的

电极电势存在着一定的对应关系

b. 可以利用金属的表面电势控制金属/陶瓷摩擦副的摩擦系数

参考文献:

- [1] Su Y Y. Enhanced boundary lubrication by potential control during copper wire drawing[J]. Wear, 1997, 210: 165-170
- [2] Henryk W. The effect of an external field on the operation of an aluminium oxide-cast iron sliding contact joint[J]. Wear, 1997, 208: 113-117.
- [3] Lavielle L. Electric field effect on the friction of a polyethylene-terpolymer film on a steel substrate[J]. Wear, 176: 89-93
- [4] Kunio G. The influence of surface induced voltage on the wear mode of stainless steel[J]. Wear, 1995, 185: 75-81.
- [5] Tung S C, Wang S S. In-situ electro-charging for friction reduction and wear resistant film formation [J]. Tribology Transactions, 1991, 34(4): 479-488
- [6] Tung S C, Wang S S. Friction reduction from electrochemically deposited films[J]. Tribology Transactions, 1991, 34(1): 23-34
- [7] Zhu Y Y, Kelsall G H, Spikes H A. The influence of electrochemical Potentials on the friction and wear of iron and iron oxides in aqueous systems[J]. Tribology Transactions, 1994, 37(4): 811-819
- [8] Barril S, Michler S, Landolt D. Triboelectrochemical investigation of the friction and wear behaviour of TN coatings in a neutral solution[J]. Tribology International, 2001, 34: 599-608

The Influence of Electrode Potential on the Friction Behavior of Silicon Nitride Ball/Brass Plate Sliding Couple

CHANG Qiu-ying, MENG Yong-gang, WEN Shi-zhu

(State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The influence of metal electrode potential on the friction coefficient of ceramic/metal sliding couple was investigated with a tribotest developed in our laboratory. It was observed that the friction behavior varied with the electrode potential, especially in a potential range of $-1.0\text{ V} \sim -1.4\text{ V}$, the friction coefficient was controllable to some extent. The observation of the worn brass surface morphologies with a scanning electron microscope showed that the worn surface under the potential of $-1.0\text{ V} \sim -1.4\text{ V}$ was similar to that under the open current potential. Electrochemical method has been applied to analyze the test results. It was showed that the controllability of the friction was dependent on the electrochemical process of the frictional pair in the presence of the electric potential. However, further work is needed to disclose the essence of such a dependence.

Key words: friction coefficient; electrode potential; electrochemistry; ceramic

Author: CHANG Qiu-ying, born in 1972, Ph. D. candidate, E-mail: changqy@post.pim.tsinghua.edu.cn