

表面粗糙度对 GCr15/35CrMo 摩擦副摩擦磨损特性的影响

黄建龙, 吴建宏, 党兴武

(兰州理工大学 机电工程学院, 兰州 730050)

[摘要] 在3号锂基脂润滑条件下,研究了35CrMo试块粗糙度对GCr15/35CrMo摩擦副摩擦磨损性能的影响。借助扫描电子显微镜分析了不同粗糙度的试块磨损后的表面形貌,结合35CrMo支撑轴与无内圈滚针轴承的接触工况,分析了粗糙度影响该摩擦副的磨损机理。结果表明:试块表面粗糙度存在一个最佳的范围,在此范围内,摩擦系数和磨损率均相对较小;试块表面粗糙度过高或过低时,磨损率均比较大;粗糙度较大时,试块损伤以粘着损伤为主。

[关键词] 粗糙度; 35CrMo; 摩擦磨损性能

[中图分类号] TG115.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2013)04-0062-03

Influence of Surface Roughness on Friction and Wear Characteristics of GCr15/35CrMo Friction Pair

HUANG Jian-long, WU Jian-hong, DANG Xing-wu

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

[Abstract] With the 3[#] lithium Grease lubrication conditions, influence about 35CrMo testing block with a series of different roughness on pair, friction and wear characteristics of GCr15/35CrMo was studied. By means of scanning electron microscopy (SEM), the surface morphology of the worn test block with different roughness was analyzed. And combined contact condition of the 35CrMo supporting shaft of beam pumping units and needle roller bearing without inner ring, the causes and mechanisms of the roughness on the friction pair were analyzed. The results show that: the surface roughness of the test block exists an optimal range, and the coefficient of friction and the wear rate is relatively small in this range. When the surface roughness of the test block is too high or too low, the wear rate is relatively more large. When the roughness is large, the mechanism of the damage to the test block is due to furrow injury.

[Key words] roughness; 35CrMo; friction and wear properties

游梁式抽油机本质上是一个大型的曲柄连杆机构。横梁支撑轴是其中连接连杆与游梁,传递运动和动力的重要连接轴,也是游梁的重要支撑部件,常用35CrMo制造。由于结构所限,该轴与连杆固连在一起;同时,该轴与装在游梁上的无内圈滚针轴承绞接,组成一个摩擦副,轴颈名义上充当了滚针轴承“内圈”的角色。工作时,该轴固定不动,通过与之配合使用的滚针轴承绕轴转动来完成运动的传递和转变。此种连接方式带来的缺点就是,轴承滚针直接在横梁轴上滚动,连接轴在工作过程中会承受很大的交变载荷和冲击载荷,易于磨损,寿命短,进而影响到整机寿命。

有研究表明,支撑轴的表面粗糙度对该摩擦副的性能有较大影响。目前,关于在润滑条件下粗糙度对摩擦磨损影响的研究已经取得了一定进展^[1-8],但还

有许多问题尚不十分明确,甚至个别结论存在较大分歧。周银生^[9]、冀盛亚^[10]等认为:存在一最佳表面粗糙度级别,在此级别下,摩擦副的边界摩擦系数最小,耐磨性能最好。但田世新^[11]在研究了润滑状态下,钢铜摩擦副表面粗糙度对摩擦磨损性能的影响后认为:对钢铜摩擦副而言,摩擦系数随着钢试件表面粗糙度的增大而增大,降低粗糙度对降低磨损大有益处。这种结果可能与特定的加工工艺和摩擦副偶件特性有关。王成彪^[12]认为,粗糙度对润滑状态的转化有显著影响,但他未给出进一步分析。文中制备六种不同粗糙度的35CrMo试块,分别与GCr15试环配副在脂润滑状态下进行摩擦磨损试验,研究试块表面粗糙度对该摩擦副的影响,并分析影响摩擦磨损性能的机制。

[收稿日期] 2013-03-02; **[修回日期]** 2013-03-20

[作者简介] 黄建龙(1951—),男,甘肃兰州人,教授,博士生导师,主要研究方向为机械成套装备设计。

1 摩擦磨损试验

摩擦磨损试验在 MRH-3 高速环块摩擦磨损试验机上进行。下试样为 $49.22\text{ mm} \times 13.06\text{ mm}$ 的 GCr15 钢环,硬度在 210 ~ 220HBS 之间;上试样为 $19.05\text{ mm} \times 12.32\text{ mm} \times 12.32\text{ mm}$ 的 35CrMo 试块,硬度在 150 ~ 160HBS 之间。摩擦试验简图如图 1 所示。试环套在试验机主轴末端,随主轴高速转动。试块安装在夹具里面,用螺钉紧固。试验中保持静止,通过试验机系统杠杆和砝码进行加载。

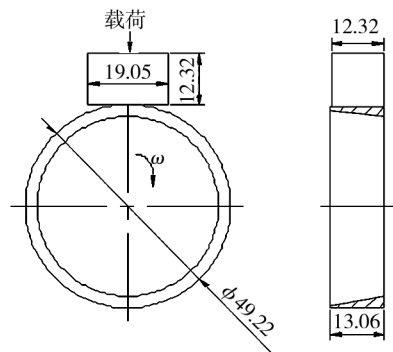


图 1 摩擦试验简图

Fig. 1 Schematic diagram about the friction test

考虑到抽油机横梁支撑轴与无内圈滚针轴承的配合要求,轴的表面粗糙度尽可能要小。取 6 个试块,分别用不同型号的砂纸对试块进行打磨处理,使其具有不同的粗糙度。用粗糙度测量仪测定 6 个试块的粗糙度,为了提高测量的准确性和试验结果的再现性,每个试块测 3 个值,取平均值。6 个试块的表面粗糙度值 Ra 分别为 0.14, 0.23, 0.33, 0.41, 0.51, 0.62 μm ,依次用 1#, 2#, 3#, 4#, 5#, 6# 表示。

试验中采用 3 号锂基脂为润滑剂,试验前先涂抹均匀,试验过程中不再添加。根据工况实际,对 6 组摩擦副施加 200 N 的载荷,试验转速为 1200 r/min。每组试验进行 20 min。数据通过试验机自动采集试样点获取,每隔 1 s 计数一次。为排除其它因素的干扰,每组试验重复两次,结果取平均值。

每次试验前后,用超声波清洗机对钢环和试块进行超声清洗,烘干后称取质量,以质量磨损率衡量耐磨性。用扫描电子显微镜对 35CrMo 试块磨损后的表面形貌进行观察,据此分析磨损机制。

2 结果分析

2.1 平均摩擦系数与粗糙度的关系

图 2 给出了六种不同试块在摩擦稳定状态下的平

均摩擦系数。对比可知,摩擦系数随着表面粗糙度的增加,先缓慢增大,后急剧减小,在粗糙度 Ra 为 0.41 μm 时达到最大值,在粗糙度 Ra 为 0.62 μm 时达到最小值。另外还可以看出,粗糙度 Ra 在 0.41 ~ 0.61 μm 范围内时,曲线斜率较大,摩擦系数随粗糙度下降较为明显,说明在这个范围内, GCr15/35CrMo 摩擦副的摩擦磨损性能对于偶件表面粗糙度的变化更加敏感。

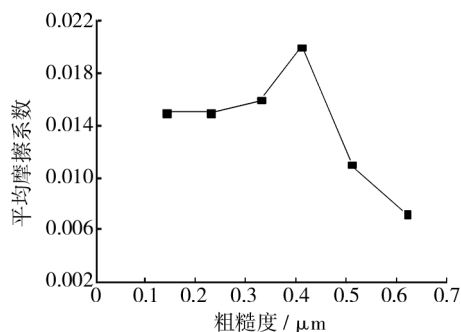


图 2 平均摩擦系数随粗糙度的变化

Fig. 2 Change of average coefficient of friction with the roughness

在脂润滑条件下,当粗糙度 Ra 在 0.14 ~ 0.41 μm 之间时,由于表面油膜的存在,两摩擦面的粘着作用很弱,此时试环表面的微凸体对试块材料的磨损起主要作用。试块表面粗糙度越大,微凸体之间咬合的幅度越大,两表面相对运动时的摩擦阻力也就越大,摩擦系数相应就越高。因此当支撑轴表面粗糙度较低时,表面损伤以犁沟磨损为主。当粗糙度 Ra 增加到 0.41 ~ 0.62 μm 范围内时,试块表面微凸体的波度也会更大,出现尖锐波峰的概率增大,虽然犁沟效应增强了,但是在微凸体之间储存的润滑剂量也增加了,即试块表面的储油能力加强了。在两接触表面跑合完成并形成稳定的摩擦状态时,这些微凸体顶部也相应被破坏,微凸体之间储存的润滑剂就会随之释放出来,并随着试环的高速运动快速形成均匀的润滑油膜,使摩擦副处于良好的边界润滑状态,降低了摩擦系数。

由于滚动轴承为标准件,所以抽油机横梁支撑轴与无内圈滚针轴承摩擦副的可靠性和寿命很大程度上取决于支撑轴的表面质量(粗糙度、硬度等),这也是导致接触失效的重要因素。支撑轴粗糙度过大或过小,都会对整个摩擦副的摩擦系数产生较大的影响。当抽油机经过长期服役,该摩擦副失效时,除了更换新的轴承之外,也应该对支撑轴的表面质量进行检查。

2.2 磨损率与粗糙度的关系

图 3 给出了脂润滑条件下,六种不同粗糙度 35CrMo 试块与 GCr15 钢环配副时的磨损率。总体看来,在脂润滑条件下,随着粗糙度的增大,磨损率呈增加趋势,说明 35CrMo 材料的磨损率与粗糙度有很大关系。粗糙度 Ra 为 0.14 μm 时,磨损率最小;粗糙度

Ra 大于 $0.51\text{ }\mu\text{m}$ 时,磨损率随粗糙度的增大而急剧下降, Ra 为 $0.51\text{ }\mu\text{m}$ 时的磨损率是 Ra 为 $0.62\text{ }\mu\text{m}$ 时的 2 倍左右。这又说明,在本试验条件下,当试块表面粗糙度降至一定值以后,其磨损率反而更大,与前面摩擦系数的变化趋势一致。这是因为:脂润滑条件下,表面粗糙度较小时,由于润滑油膜的存在,使得摩擦副长时间处于边界润滑状态,降低了摩擦系数,进而降低了磨损率;随着粗糙度增大,犁沟效应加剧,磨损率相应增大,但并非呈线性关系;当粗糙度增大到一定程度以后,微凸体之间的储油能力增幅会超过波度增幅,随着磨损释放出来的润滑剂使得摩擦系数急剧降低,磨损相应大大减轻。

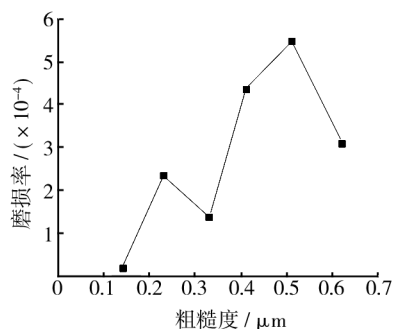


图3 磨损率随粗糙度的变化

Fig. 3 Change of wear rate variation with roughness

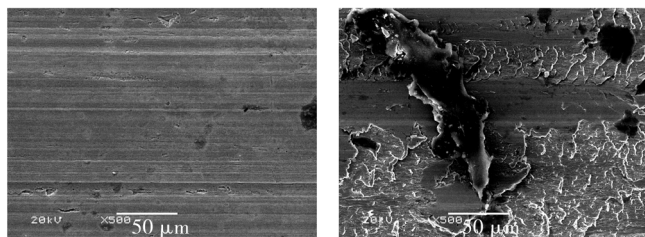
以上分析表明,在脂润滑条件下,对偶件表面粗糙度对 GCr15/35CrMo 摩擦副的摩擦磨损性能影响很大,当对偶件表面粗糙度在某一范围内时,可获得较佳、稳定的摩擦磨损性能,低于一定值以后,磨损率反而更高。本试验中 Ra 的较优值为 $0.14 \sim 0.33\text{ }\mu\text{m}$,超出这个范围时,磨损率将增大。

2.3 磨损机理分析

润滑状态下,对于粗糙度小的表面,接触的微凸峰数目多,单个凸峰受力小,对油膜的破坏作用小,利于油膜形成和保持,油膜分布均匀,受力均匀。此外,由于油膜的存在,微凸体分子之间的作用力也较弱。因此,摩擦副发生粘着磨损的可能性降低。同时,接触的微凸峰数目多会使相互咬合的概率增加,金属表面发生相互运动的阻力加大,犁沟效应增强。通过扫描电子显微镜观察 500 倍下的表面形貌(如图 4a 所示)可知,磨损后的试块表面沟痕明显,说明在摩擦过程中发生了明显的犁削磨损和磨料磨损。

切削时会产生高温高压和刀具的振动,因此与粗糙度小的表面相比,粗糙度大的表面缺陷多。由于尖锐凸峰比较多,在高载荷下,容易刺破油膜,使得油膜的稳定性差,同时微观缺陷往往引起金属间的直接接触,产生更大的粘着力,因此磨损量增加。对于粗糙度大的表面,润滑不充分时,金属与金属间的磨损势必较

多。不过,微凸体波度增大,微凸体之间储存润滑剂的空间就增大,使得表面储油能力增强,随着磨损的进行,凸峰逐渐被磨平,微凸体之间储存的润滑剂被释放出来,补充到破裂的油膜当中,使油膜的破裂和形成达到动态平衡。这也是粗糙度增大时,摩擦系数下降的原因。观察试块磨损后放大 500 倍的表面形貌,可见到明显的粘着磨损痕迹,如图 4b 所示。这说明在本试验条件下,粗糙度较高时主要发生的是粘着磨损,这与传统理论认为粗糙度较大时易发生犁削磨损不同,润滑剂的存在、35CrMo 金属材料的物理化学性能和试件的加工方式可能是造成这种结果的重要原因。



a $Ra=0.23\text{ }\mu\text{m}$

b $Ra=0.51\text{ }\mu\text{m}$

图4 试块磨损后的表面形貌

Fig. 4 Surface morphology of the worn test block

本试验中,相对较高的粗糙度有利于降低摩擦系数,较低的粗糙度有利于减小磨损量。综合来看,最佳表面粗糙度存在于两者之间,因为较低的粗糙度造成犁削磨损较大,较高的粗糙度造成粘着磨损加重,合适的粗糙度有可能使磨屑填补在微凸体之间的凹坑中,减轻微凸体之间的咬合,也即减弱了粗糙峰锋利边缘的犁削作用,使磨损降到很低,摩擦系数也不会很大。

3 结论

润滑条件下,GCr15/35CrMo 摩擦副存在一个最佳表面粗糙度范围,使得质量磨损率较小,本试验条件下为 $0.14 \sim 0.33\text{ }\mu\text{m}$ 。此外,粗糙度并不是越小越好。随着表面粗糙度的增大,摩擦系数先升高,后急剧降低,表明在这个粗糙度范围内,GCr15/35CrMo 摩擦副的摩擦磨损性能对于对偶件表面粗糙度的变化更加敏感。

在抽油机横梁支撑轴与无内圈滚针轴承摩擦副的设计中,必须合理地选取支撑轴的表面粗糙度参数,以获得良好的摩擦磨损性能,从而提高整机的机械性能和使用寿命,为客户创造更多经济价值。

[参 考 文 献]

- [1] 温诗铸. 摩擦学原理[M]. 北京:清华大学出版社,1990.

- 8—11.
- [23] 郭锋,刘荣明,李鹏飞. 电压参数对铝合金微弧氧化陶瓷层相组成的影响[J]. 金属热处理,2007,32(10):38—40.
- [24] 魏同波,张学俊,王博,等. 电流密度对铝合金微弧氧化膜的生长及结合力的影响[J]. 材料保护,2004,37(4):4—6.
- [25] 翁海峰,陈秋龙,蔡珣,等. 脉冲占空比对纯铝微弧氧化膜的影响[J]. 表面技术,2005,34(5):59—62.
- [26] 董玉英,沈丽如,铁军,等. 铝及其合金微弧氧化过程中工艺条件对氧化膜性能的影响[J]. 核工业西南物理研究院年报,2001(1):109—110.
- [27] 吴振东,姜兆华,姚忠平,等. 反应时间对 LY12 铝合金微弧氧化膜层组织及性能的影响[J]. 无机材料学报,2007,22(3):555—559.
- [28] 侯朝辉,旷亚非,周海晖,等. 铸铝合金微弧氧化工艺研究[J]. 电镀与精饰,2001,23(5):5—8.
- [29] 崔丽华,郝建民,陈宏,等. 铸造铝合金微弧氧化工艺及其优化[J]. 热加工工艺,2009,38(16):107—109.
- [30] 金玲,扬忠,李高宏,等. $\text{SiC}_p/\text{ZL109}$ 铝基复合材料微弧氧化层的微观组织特征[J]. 兵器材料科学与工程,2003,26(3):31—35.
- [31] 薛文斌,吴晓玲,施修龄,等. $\text{SiC}_p/2024$ 铝基复合材料表面微弧氧化膜组织结构及其耐蚀性[J]. 复合材料学报,2006,23(6):98—102.
- [32] 薛文斌. SiC 颗粒增强体对铝基复合材料微弧氧化膜生长的影响[J]. 金属学报,2006,42(4):350—354.
- [33] 李翠玲,欧阳贵. 6063 铝材微弧氧化最佳电流密度和槽液温度的探讨[J]. 复合材料学报,2009,43(4):108—111.
- [34] 金光,李玉海,张罡,等. LY12 铝合金天蓝色微弧氧化膜层的制备及其耐磨性能[J]. 金属热处理,2009,34(5):61—63.
- [35] 吴振东,姜兆华,姚忠平,等. LY12 铝合金微弧氧化黑色陶瓷膜结构及耐腐蚀性研究[J]. 稀有金属材料与工程,2007,36(增刊2):687—689.
- [36] 崔作兴,王彩丽,邵忠财,等. 铝合金黄色微弧氧化膜的制备及其性能[J]. 材料保护,2009,42(6):4—6.
- [37] NYKYFOREHYN H M, KLAPKIV M D, POSUVAILO V M. Properties of Synthesised Oxide Ceramic Coatings in Electrolyte Plasma on Aluminum Alloys [J]. Surface and Coatings Technology, 1998, 100:219—221.
- [38] 薛文斌,邓志威,来永春,等. 有色金属表面微弧氧化技术评述[J]. 金属热处理,2000,1(1):1—3.
- [39] CURRAN J A, CLYNE T W. Porosity in Plasma Electrolytic Oxide Coatings[J]. Acta Materialia, 2006, 54:1985—1993.
- [40] MALYSHEV V, MOSKAU. Micro-arc Oxidation, A New Method for Strengthening Almuinum Surface[J]. Matelloberfkarche, 1995, 49(8):606—608.
- [41] DITTRICH K H, KRYSMANN W, KURZE P, et al. Structure and Properties of ANOF Layers [J]. Crystal Research and Technology, 1984, 19(1):93—99.
- [42] FAN Y J, KE W, MING Z, et al. Infrared Reflection by Alumina Films Produced on Aluminum Alloy by Plasma Electrolytic Oxidation[J]. Materials Chemistry and Physics, 2009, 114(1):398—401.

(上接第 64 页)

- [2] 葛中民. 耐磨损设计[M]. 北京:机械工业出版社, 1991.
- [3] 代汉达,曲建俊. 水润滑下偶件表面粗糙度对 PTFE 复合材料摩擦学性能的影响[J]. 润滑与密封,2009,34(2):8—11.
- [4] FANG L, DULIAS U, ZUM GAHR K H. Effect of Surface Roughness of Self-mated Alumina on Friction a Wear in Lubricated Reciprocating Sliding Contact [C]//Contributions of Surface Engineering to Modern Manufacturing and Remanufacturing—Proceedings of the 3rd International Conference on Surface Engineering, 2002. (余不详)
- [5] 车建明. 碳纤维增强铜基复合材料摩擦磨损性能同其磨损表面形貌相关性研究[J]. 摩擦学学报,2004,24(2):144—147
- [6] 伊万·伊留克. 薄层摩擦学[M]. 王一麟,陈耕译. 北京:机械工业出版社,1986.
- [7] AIRMAN V A, MALAKNOV G V, MEMLOR V L. Study of Mechanism of Surface Film Formation in the Friction of Copper Graphite Material [J]. J Friction and Wear, 1989(10):873—881.
- [8] 胡献国. 混合润滑状态下表面粗糙度对拉深摩擦系数的影响[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 1994, 17(2):167—172.
- [9] 周银生,金永听. 表面粗糙度对边界摩擦与磨损性能的影响[J]. 润滑与密封,1994,34(2):9—10.
- [10] 冀盛亚,孙乐民,上官宝,等. 表面粗糙度对黄铜/铬青铜摩擦副载流摩擦磨损性能影响的研究[J]. 润滑与密封, 2009,34(1):29—32.
- [11] 田世新,马先贵,张会臣. 钢铜摩擦副表面粗糙度、硬度对摩擦磨损性能的影响[J]. 沈阳工业大学学报,1991,13(3):33—41
- [12] 王成彪,温诗铸. 铸件滑动摩擦副润滑状态转化之部分影响因素的考察[J]. 摩擦学学报,1993,13(4):297—304.