

ART对灰铸铁试样摩擦表面自修复的研究

刘永强^{1,2}, 孙冬²

(1.中航工业第一飞机设计研究院,陕西 阎良 710089;2.空军工程大学工程学院,陕西 西安 710038)

摘要 运用改装的摩擦实验机对灰铸铁 HT150—45 钢摩擦副做旋转对磨实验,主要探索 ART 对灰铸铁摩擦副表面自修复改性的机理和耐磨规律。在摩擦副中加入 ART 试剂,在定载荷、定转速条件下在大气环境中进行试验。用 KeveX 能谱仪和 S440 扫描电镜等,通过测定试样的磨损率,表面显微硬度、粗糙度的测定和显微形貌的观察及表面成分分析与试样镜像组织观察,试验发现灰铸铁摩擦试样表面有一层光滑、平坦的乳白色膜生成,微观发现试样表面有大量灰色光滑块状物生成,表面微区亦增添了大量来自 ART 粉体中的元素,显微硬度明显提高,其中灰色区尤为显著,局部区域最高可达原来 4 倍;同时,表面粗糙度显著降低,有的试样 R_a 值为原来的 14%,起到了良好的减摩耐磨效果。

关键词 摩擦;磨损;ART 技术;自修复;表面改性;灰铸铁

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.04.004

中图分类号 TG174.44 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)04-0014-04

摩擦磨损是普遍存在的自然现象。减少机械设备金属零部件的摩擦磨损,可以有效降低能源消耗并避免灾难性事故发生^[1-2]。

ART(金属磨损自修复技术)技术是一种超细矿物粉体综合润滑减摩及表面改性修复技术。可在运行过程中完成铁基金属磨损部位的自修复过程,在机械装置不解体的情况下,通过生成减摩性能优异的金属陶瓷保护层,避免摩擦副金属表面的直接接触,延长设备的使用寿命^[3-4]。

近年来,国外在自修复材料方面的研究较多,如日本学者研究了具有自组装、自修复特点的机械系统和利用环氧粒子进行自修复的智能材料系统^[5-6],还利用具有自补偿性能的阳极多孔氧化铝进行纳米级有序图案的自修复研究^[7]。美国研究了对低速冲击具有自修复能力的树脂复合材料^[8],还在国家纳米技术计划(NNI)中将设计和制造能进行自修复的纳米材料作为可能取得突破的长期目标^[9]。

现阶段该领域的研究大多侧重于钢-钢摩擦副,研究表明,钢-钢摩擦副在“ART”技术下在摩擦表面可生成自修复保护膜,降低金属的摩擦磨损。铸铁与钢相比价格低,减震性好,同时石墨孔洞在摩擦时可以储存润滑剂,有利于润滑,但目前对铸铁的研究及相关报道却甚少^[10]。因此,本文对灰铸铁在金属自修复添加剂作用下的摩擦磨损性能进行了研究。

1 试验过程

1.1 试验准备

1.1.1 试样制备

用灰铸铁 150 试样和 45 钢试样做旋转对磨实验,以灰铸铁为研究对象。试样均用棒材截取,尺寸为 $\phi 40\text{ mm} \times 10\text{ mm}$,端面精车加工,作为实验工作面,只在外沿 10 mm 宽圆环部位进行对磨实验。表面粗糙度 $R_a = 0.24 - 0.31\ \mu\text{m}$,用 AA-160 电子分析天平称量试样质量,精度为 0.000 1,用 YOUKON200 显微硬度计

* 收稿日期:2011-01-12

作者简介:刘永强(1971-),女,陕西西安人,副教授,主要从事飞机飞行使用安全研究。E-mail:LYQ@163.com

测量试样表面显微硬度,载荷值为 100 N,用 S440 扫描电子显微镜对试样表面进行观察,采用 Kevex 能谱仪进行微区成分分析。

1.1.2 试剂制备

试剂用 25# 变压器油与 ART 粉体搅拌配制,浓度为 2.08 mg/ml。ART 为浅灰色粉体,主要特征如下^[11]: ①粉体粒径差别较大,大多数分布在 0.50 - 50 μm 之间;②粉体之间有团聚现象;③粉体形态各不相同,大体上有以下几种:粗细不一的纤维状;大小、厚薄不一的层片状;细小颗粒状;个别粗大的棒状。能谱微区成分分析可知,粉体主要元素有 O、Mg、Si,另外还有少量 Na、Al、Ca、Fe,个别粉体(粗大棒状)以 C 为主。大多数粉体, Si 和 Mg 的重量百分数含量之和为 36% - 47%;少数粉体 Si 和 Mg 的原子百分数含量之和约为 31%,但是同时含有少量 Ca(约 7%)。X 射线衍射结果显示,粉体主要为蛇纹石(温石棉),还有少量软玉(阳起石)。

1.2 试验过程

用改装的摩擦试验机做摩擦实验。电压为 220 V,转速为 515 r/min,功率为 180 W,载荷为 2.5 kg,试剂直接加入润滑油中,进行浸油润滑试验。实验过程中,灰铸铁试样卡在试验机的卡盘里做匀速转动,而 45 钢试样放在底座里静止不动。共进行试验 100 h,试验过程中不定期对试样清洗,观察表面状态变化并称量质量变化。试样质量变化曲线见图 1。通过对曲线观察发现,试验刚开始时,磨损比较严重,随着时间的增长,磨损率越来越小,直至最后试样重量反而增加。

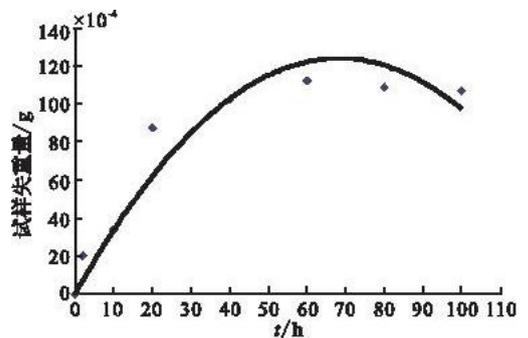


图1 试样质量变化曲线

Fig. 1 Variation of specimen quality with time

2 试验分析

2.1 试样外观及表面形貌

观察发现,试样表面原来的加工痕迹逐渐被填平,颜色也不同程度的变得灰暗,同时有深浅不一的白色雾状膜生成;直至最后整个试样表面原始加工刀痕被填平,并且被一层乳白色膜覆盖,表面光滑发亮成镜面。图 2 为原始试样形貌,图 3 为试样摩擦试验区在电镜下的微观形貌。从图上可以看出,整个表面有沿同一方向的条形摩擦痕,并且分布较均匀,也变得非常浅。摩擦面上有大量很平滑的黑色斑块生成,放大后发现,这些块状物区域和基体的磨痕是连续的(图 4)。说明自修复处理过的试样表面原有的划痕被填平,同时,有新的附着物生成,表面变得非常平整光滑。

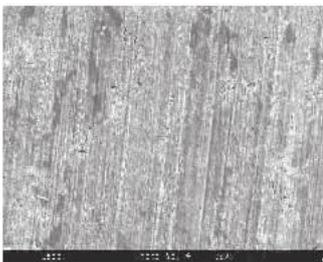


图2 试样原始表面形貌

Fig. 2 Microscopic surface before experiment

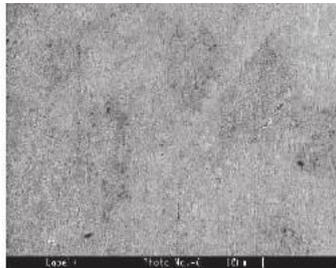


图3 试样实验后表面形貌

Fig. 3 Microscopic surface after experiment

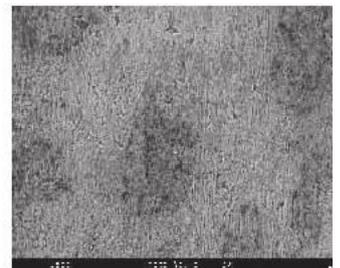


图4 图3中黑色块放大

Fig. 4 Further magnification of black area in Fig. 3

2.2 试样表面成分分析

能谱分析表明试样 ART 区仍以 Fe 为主,含有少量的 Si 和微量的 Mg;黑色块含有大量的 O、Mg、少量的 Si 和微量的 S,见表 1。

表1 实验后试样表面成分的质量百分数

部位	成分				
	O	Mg	Si	S	Fe
摩擦区	-	0.70	1.56	-	97.74
黑色块	10.49	8.11	5.50	0.27	75.63

2.3 试样表面显微硬度

表2列出了试样表面的显微硬度测试结果。在试样不同位置任取几个点测试其显微硬度。从表中可以看出,原始区的显微硬度值基本差别不大,而ART区的显微硬度值在不同区域有波动,但显微硬度明显提高。

表2 试样表面显微硬度值(Hv0.1)

部位	测量值					平均值
	1	2	3	4	5	
原始区	286.8	293.4	306.7	309.3	299.2	299.1
ART区	408.7	401.1	454.4	420.4	408.7	418.7

2.4 试样表面粗糙度

试样表面粗糙度的检测结果表明,经自修复处理过的试样表面粗糙度明显下降,试样表面粗糙度值从试验前的 $R_a = 0.24 - 0.31 \mu\text{m}$ 下降到试验后的 $R_a = 0.035 - 0.095 \mu\text{m}$ 。

3 讨论

经过ART试验后的试样,表面粗糙度 R_a 的平均值降低了68.3%,表面显微硬度值平均提高了40%,灰色块状区域提高更多,从成分分析来看,试验后的试样,增加了大量来自矿物质中的元素。

在摩擦副匹配表面之间的ART超细粉体及其产物,由于粒径非常小,在匹配表面相对运动时,比较容易滚动,这样就起到了微滚珠作用,对摩擦副表面的实际接触斑点起到微观范围内的碾压(或挤压)、剪切等作用,使其加工硬化,产生强烈的不均匀的塑性变形,大大提高表面显微硬度。ART粒径很小,容易进入摩擦副间隙,同时,其比表面积很大,荷电性、物理、化学吸附性很强,很容易进入摩擦副表面的凹坑填平并吸附在其表面。细微粒子对试样表面进行超精研磨和清洗,大大降低表面粗糙度,同时,粒子进一步细化,使表面温度和压力升高,粒子向表面晶格内部扩散,并在微观起伏不平低凹处与金属磨屑及其它磨擦参与物发生合成硬化,形成金属陶瓷层,对表面进行修复、改性,提高材料的抗磨减摩性能。

4 结束语

本文采用此技术对灰铸铁试样摩擦表面进行了研究,结果证实使用ART技术处理机械零件可以将精加工和表面处理过程最大限度的延伸至机械设备的使用过程中,在正常运行条件下对摩擦副表面进行原位自修复或者实施超精加工再制造,并形成金属陶瓷保护层。

ART技术的使用赋予了金属摩擦表面超滑、高硬、耐磨、耐蚀、耐高温的物理机械性能,从而可以有效控制机械设备的摩擦磨损,可大幅度节能、降耗,大大延长设备维修周期,延长设备的使用寿命,可获得显著的社会、经济与环境效益。

参考文献:

- [1] 刘永强,张栋. ART对45钢表面改性的研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2008,9(1):92-94.
LIU Yongqiang,ZHANG Dong. A Study of the effect of ART reagent on surface modification of 45 steel[J]. Journal of air force engineering university:natural science edition, 2008,9(1):92-94. (in Chinese)
- [2] XIE Feng. Wear and its influenced tractors [J]. Synthetic lubricants,2006,33(1):36-39.
- [3] 刘永强,张栋,李锋. 有机硅酸盐对灰铸铁摩擦表面改性的研究[J]. 机械工程学报,2006,42(4):236-238.

- LIU Yongqiang, ZHANG Dong, LI Feng. Effects of organize silicate on the friction performance of 45 steel/HT150 pair [J]. Journal of mechanical engineering, 2006, 42(4): 236 - 238. (in Chinese)
- [4] LI Xiaohong, CAO Zhi, ZHANG Zhi - jun, et al. Surface - modification in situ of nano - SiO₂ and its structure and tribological properties [J]. Applied surface science, 2006, 25(2): 7856 - 7861.
- [5] 郭廷宝, 徐滨士, 马士宁, 等. 羟基硅酸盐润滑油添加剂对45钢/球磨铸铁摩擦副摩擦磨损性能的影响[J]. 摩擦学报, 2004, 24(6): 512 - 515.
- GUO Yanbao, XU Binshi, MA Shining, et al. Effect of hydroxyl silicate particulates as an additive on the friction and wear behavior of mild steel/ductile cast iron pair [J]. Tribology, 2004, 24(6): 512 - 515. (in Chinese)
- [6] Jin Li SH, Zhang Z Y, et al. In situ mechanic chemical reconditioning of womb ferrous surfaces [J]. Tribology international, 2004, 37: 561 - 567.
- [7] Shi P I, Xu Y, Yu H L, et al. Micro mechanical and tribological properties of auto - reconditioning film in situ generated in presence of inorganic mineral pander on wom surfaces [C]//Proceedings of international symposium on materials science and engineering. Taiyuan: Heat treatment society, 2005: 465 - 468.
- [8] Satoshi Murata, Eiichi Yoshida, Haruisasa Kurokava, et al. Self repairing mechanical system [C]//Part of the SPIE conference on sensor fusion and decentralized control in robotic systems II. Boston: [s. n.], 1999: 202 - 213.
- [9] Asuda Hideki M, Masato Yotsuya, Mari Asango, et al. Self - repair of ordered pattern of Nanometer dimensions based on self - compensation properties of anodic porous alumina [J]. Applied physics letters, 2007, 78(6): 826 - 828.
- [10] 闫艳红, 杨育林, 肖宏. 时间效应对45钢 - 铸铁摩擦副在自修复添加剂作用下摩擦磨损性能的影响[J]. 润滑与密封, 2008, 33(4): 37 - 41.
- YAN Yanhong, YANG Yulin, XIAO Hong. The influence of time effect on the tribology characteristic of the steel - cast iron friction pair in the self - repairing addictive [J]. Lubrication engineering, 2008, 33(4): 37 - 41. (in Chinese)
- [11] 刘永强. 超细矿物粉体对摩擦副表面改性的研究[D]. 西安: 空军工程大学, 2003.
- LIU Yongqiang. The study of modified theory of the superfine mineral powder to the friction pair surface [D]. Xi'an: Air force engineering university, 2003. (in Chinese)

(编辑: 徐敏)

A Study of the Effect of ART Reagent on Surface Modification and self - repairing of Cast Iron

LIU Yong - qiang^{1,2}, SUN Dong²

(1. The First Aircraft Institute, AVIC, Yanliang 710089, Shaanxi, China; 2. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: The effects of organic silicate on the friction performance of HT150/45 steel pair are studied by using an improved friction apparatus. Emphases are mainly put on the mechanisms of surface self - repairing, modification and abrasion - resistant rule. The reagent of ART is added to the pair, and then the friction experiment is carried out under constant load, constant velocity in atmospheric environment. Restoration agent is analyzed by using kevox TEM, S440 SEM etc. The abrasion rate of cast iron is tested, meanwhile, by the test of sample surface microscopic rigidity and the roughness, observation of the microcosmic appearance and the surface elements analysis and the observation of the metallographic phase organization, the results show that there is an ivory - white film on the surface of HT150. Investigation by microscope indicates that many grey blocks are observed on the specimen surface and some elements of ART are embedded into the surface. The micro - penetration hardness and surface roughness are greatly increased, which are four times as large as the original ones in some parts. At the same time, the surface roughness is obviously decreased, some sample's R_a is 14% of the original one, which demonstrates the pronounced abrasion - resistant effects of organic silicate.

Key Words: friction; abrasion; ART technique; self - repairing; surface modification; cast iron