

文章编号:0253-9993(2011)02-0351-04

3种浸锑石墨材料的摩擦磨损性能实验研究

胡亚非^{1,2}, 刘 颀³, 蒋文武⁴, 王启立^{1,2}

(1. 中国矿业大学 煤炭加工与高效洁净利用教育部重点实验室, 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221008; 3. 中国矿业大学 电力工程学院, 江苏 徐州 221008; 4. 江苏中能硅业科技发展有限公司, 江苏 徐州 221008)

摘 要:利用 S250 Mk3 扫描电镜和 WJ-10B 型万能材料试验机对 EK3205、M170D 和 T163D 3 种浸锑石墨材料组织结构、机械性能和摩擦磨损性能进行了对比试验。试验结果表明:3 种材料成分和组织结构基本相同,机械性能和磨损性基本相当;T163D 和 M170D 摩擦因数(0.130 和 0.135)要比 EK3205 的(0.140)低;基体材料越致密,孔隙分布越均匀,添加超细粉固体有利于润滑膜的形成与稳定,有利于减小摩擦因数。

关键词:石墨;摩擦磨损;浸渍;孔隙;超细粉体

中图分类号:TH117.1 **文献标志码:**A

Study of friction and wear properties on three kinds of antimony impregnated graphite

HU Ya-fei^{1,2}, LIU Qi³, JIANG Wen-wu⁴, WANG Qi-li^{1,2}

(1. Key Laboratory of Coal Processing and Efficient Utilization, Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008; 2. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 3. School of Electrical Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 4. Zhongneng Polysilicon Technology Development Co., Ltd., Xuzhou 221008, China)

Abstract: The materials of EK3205, M170D and T163D were chosen as research objects. Using scanning electron microscope (SEM) and WJ-10B universal testing machine to finish the contrast test of material's organization structure, mechanical character and friction and wear properties. The results show that 3 kinds of materials have similar component and organization structure, accordant mechanical character and friction and wear properties. Friction factors of T163D and M170D (0.130 and 0.135) are lower than that of EK3205 (0.140). The denser substrate material, the more uniform the pore distributies, and adding superfine powder is helpful for the form and stability of lubricant film, and the reduction of friction coefficient.

Key words: graphite; friction and wear; impregnation; pore; superfine powder

随着火电机组向大容量方向发展,作为电厂的重要辅机——中速磨煤机正在逐渐取代钢球磨煤机。浸锑石墨密封环是电厂中速磨煤机量大面广的易损性、关键性和基础性零部件。磨煤机高温、热粉含煤渣的恶劣工况对密封件要求相当苛刻^[1-2]。德国 Babcock 的辊式磨(MPS)浸锑石墨密封环具有优良的自润滑性、优异的摩擦磨损性能和高温稳定性,较好地解决了中速磨煤机密封泄漏问题。国内生产的浸锑石墨密封环产品良莠混杂、质量达到要求的

多,密封环失效漏灰漏风,一方面导致减速机在恶劣的环境下运行,大量的粉尘灌进减速机内,使油质劣化,降低了磨煤机的使用寿命,存在高温热风引起火灾,导致设备损坏的危险;另一方面也严重污染了厂内环境,这种混乱的局面直接导致了对国产浸锑石墨材料质量的质疑。

成都润封科技有限公司的工程技术人员参与了国产 M170D 专用材料的研制,并直接负责完成了国产第 1 组浸锑石墨密封环的加工制作。多年来在为

北京电力设备总厂配套的过程中不断改进技术和生产工艺,探索磨煤机摩擦副特性对浸锑石墨密封环材料的品质要求,设计和生产出 M170D 和 T163D 专用磨煤机浸锑石墨密封环材料。

本文对 EK3205、T163D 和 M170D 三种材料多组试件进行了组织、性能和摩擦磨损对比试验。

1 试样与试验条件

试件 a 系列取自德国 Babcock 的辊式磨(MPS)浸锑石墨密封环,材质为 EK3205,试件 b 和试件 c 系列取自润封科技浸锑石墨密封环,材质为 T163D 和 M170D。

对 3 种试件分别进行金相组织、电镜扫描、机械性能以及摩擦磨损试验^[3-4],各种试验条件如下。

在浸锑石墨密封环上各取一小块,进行金相制样,试件编号为 a-1、b-1、c-1。在 PMG3 型 Olympus 光学显微镜下进行组织观察。

用英国 S250 Mk3 扫描电镜所带 AN10000 能谱仪对编号为 a-2、b-2、c-2 的试件组进行成分分析。试验条件:激发电压 15 kV;束流 0.24 mA;采集时间 100 s;工作距离 20 mm;定量分析程序 ZAF-4/FLS。

用 WJ-10B 型万能材料试验机对编号为 a-3、b-3、c-3 的试件组进行抗压和抗折试验,抗压试样尺寸为 10 mm×10 mm×10 mm,抗弯试样尺寸为 10 mm×10 mm×64 mm,硬度测定使用 HS-19GDC 肖氏硬度计,试样尺寸为 20 mm×20 mm×10 mm,体积密度试样尺寸为 10 mm×10 mm×20 mm。执行 GB1994-88 标准。

磨损对比试验分为两个对比组。第 1 组试件编号为 a-4、b-4、c-4,用 MMW-1 立式万能摩擦磨损

试验机进行短时磨损实验,分别测定干摩擦条件下试样的性能。试样为 $\phi 4.8 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$ 的小圆柱,对磨副分别采用淬火 45 钢和硬质合金 WC,外径为 31.7 mm,内径为 16 mm,厚度为 10 mm,主轴转速为 500 r/min,面压分别为 12、34 MPa,摩擦磨损时间为 30 min。试验机每隔 10 s 记录一次摩擦力矩、载荷、摩擦因数、温度及转速得到试验数据。试验后使用感量为 0.1 mg 的电子天平测定试样的磨损量。为消除前一次试验对试验的影响,每次磨完,对磨副需重新打磨至无划痕。第 2 组试件编号为 a-5、b-5、c-5,在机械密封性能试验台上进行长时磨损实验,旋转环为 WC 对磨副。试验介质为清水,压力为 0.5 MPa,转速为 3 000 r/min,常温下运行 100 h 后记录试样的磨损量。

2 试验分析

2.1 组织结构与成分

图 1 表明,试件 a-1、b-1、c-1 的组织结构较为相似:颗粒细小,锑和基体相之间有较清楚的界面,亮白花纹区为金属锑;试件 a-1 金属锑多不均匀,基体材料孔隙较多且分布不均匀,组织不够致密,颗粒内有疏松,存在少量空洞;试件 b-1 金属锑比较少,但较均匀,基体孔隙较少,比较致密,基体相颗粒大小均匀,但存在相对较多较大的空洞;试件 c-1 金属锑多,不太均匀,分布在基体相颗粒界面,基体材料孔隙较多且分布不太均匀。相比而言,试件 a-1 和 c-1 的金属锑相更多,但基体均匀度差,说明浸渍前基体的孔隙率比试件 b-1 高;两种国内材料相比:材料 b 系列基体制备时添加少量超细粉,因此试件 b-1 在锑均匀度、基体颗粒均匀度和残孔率 3 方面明显优于试件 c-1。

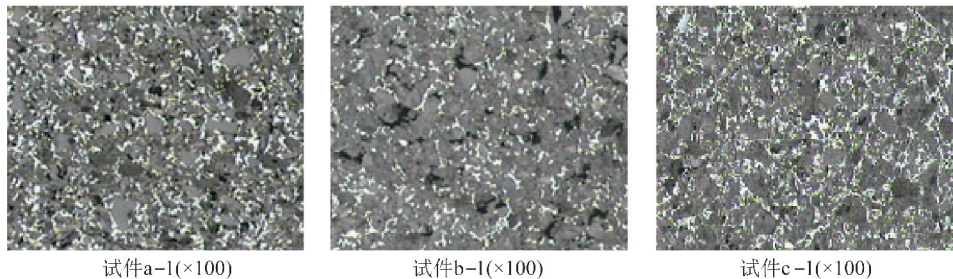


图 1 金相组织对比

Fig. 1 Comparison of the microstructure

图 2 是 3 种石墨材料的能谱分析。试验表明 3 个试件主要成分为 Sb、Si、Al、S,次要成分为 Fe、K。相比而言,试件 c-2 多检测出两种杂质 Mg 和 Cu。

试件 b-2 和 a-2 检测到较高比例的硅,硅能够强烈促使碳元素石墨化,且能起到对基体的固溶强化

作用,提高材料的强度和耐磨性。

2.2 机械性能

相比普通碳素石墨,浸锑石墨产品都具有材质硬、高强度、高硬度、耐磨性好的特点。表 1 为试件的机械性能指标,测试结果表明,3 种材料机械性能非

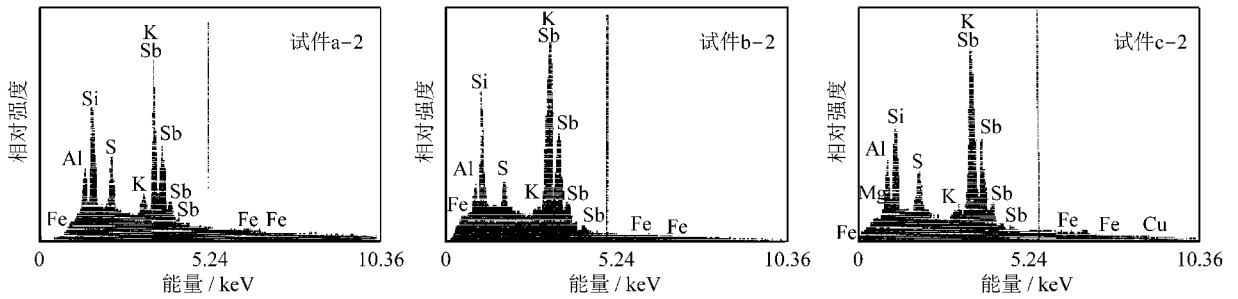


图2 浸锑石墨 X 衍射分析

Fig. 2 X diffraction analysis of antimony impregnated graphite

常一致。图3为3个试件的摩擦因数曲线。

表1 材质性能

Table 1 Material characteristics

试件	表观密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	肖氏 硬度	抗弯强 度/MPa	抗压强 度/MPa
a-3	2.35	104.5	181	68
b-3	2.32	102.0	178	65
c-3	2.35	103.0	175	66

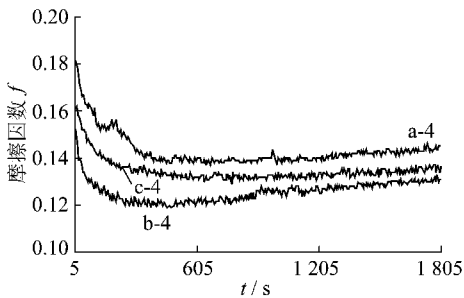


图3 干摩擦磨损实验

Fig. 3 Dry friction and wear experiments

试验表明:

(1) 石墨浸渍材料的摩擦因数^[5]随时间变化曲线由两部分构成,即 $df/dt < 0$ 的自润滑开始阶段,摩擦因数快速降低; $df/dt \rightarrow 0$ 的自润滑稳定阶段,摩擦因数略微有些波动,但整体趋于稳定。如果选用材质硬度更低的浸树脂石墨进行试验,还可能出现 $df/dt \rightarrow \infty$ 的自润滑的失稳阶段,摩擦因数迅速增加^[6-7]。

在前300 s自润滑开始阶段试件的摩擦因数有共同的速度降趋势,但试件a-4明显比试件b-4和c-4起点摩擦因数高。

(2) 由于摩擦表面石墨润滑膜的形成,以及石墨润滑膜低的剪切强度极限,使得摩擦表面具有低的摩擦因数。自润滑稳定阶段3个试件的稳态摩擦因数分别为0.140、0.130、0.135。

(3) 石墨材料属于多孔材料,石墨基体的孔隙形态将决定浸渍剂在基体中的最终分布形态,基体的材质和孔隙分布对石墨浸锑材料的性能有着重要的影

响。所以在制备石墨基体的时候要力求孔隙的均匀性、连通性、微小性,并且使其孔隙网状结构合理,尽可能少的出现短路盲孔^[8-9]。

在材质的成分和强度基本相近的情况下,试件b-4的摩擦因数低于试件a-4和c-4,可以解释为:b系列材料基体比较致密,且孔隙分布比较均匀,孔隙越均匀也即浸渍锑分布均匀,磨损量越小,越容易形成稳定的润滑膜,摩擦因数越小;b系列材料配方中加入超细粉体有利于润滑膜的形成和稳定,石墨粒度越小,其摩擦因数越小,表现出强的润滑膜成膜能力和好的摩擦磨损性能。

湿摩擦磨损试验在四川日机密封件有限公司的机械密封实验台上进行,每个台架上同时磨两个试件,每种材料运行100 h测量绝对磨损量后再磨100 h,3种试件的平均磨损量都为 $0.5 \mu m / (100 h)$ 。因此可以确定在有膜润滑条件下浸锑石墨表现出极为相同的耐磨损性。

3 结 论

(1) 国内外浸锑石墨材料成分和组织结构基本相同,主要成分为Sb、Si、Al、S,次要成分为Fe、K,并实现了锑的网状均匀分布,机械性能比较接近。

(2) 国内外浸锑石墨材料湿摩擦条件下的长时累计磨损量都为 $0.5 \mu m / (100 h)$,表明润滑膜的存在与完美是实现石墨材料良好润滑性的重要因素。

(3) 石墨浸锑材料的摩擦因数随时间变化规律由 $df/dt < 0$ 的自润滑开始段和 $df/dt \rightarrow 0$ 的自润滑稳定段组成,由于金属锑增加了耐磨损, $df/dt \rightarrow \infty$ 的自润滑的失稳段不会出现。

(4) 自润滑稳定阶段3个试件的稳态摩擦因数分别为0.140、0.130、0.135。这表明浸锑石墨材料摩擦学性能并不是锑的含量越高越好,而是基体材料越致密、孔隙度分布的越均匀,摩擦因数越小;另外基体配方中加入超细粉体更有利于润滑膜的形成和稳定,石墨粒度越小,其摩擦因数越小,试件b-4的摩

擦因数低于试件 a-4 和 c-4。

参考文献:

- [1] 胡亚非,王雷,胡建文.中速磨煤机用浸锑石墨密封环材料的制备与性能[J].机械工程材料,2006,30(6):55-57.
Hu Yafei, Wang Lei, Hu Jianwen. Manufacture and characters of antimony-immersed graphite seal ring materials used in medium speed coal mills[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2006, 30(6): 55-57.
- [2] 胡亚非,张燕京,盛玉生.中速磨煤机用碳精密密封环材质对比与选择[J].中国电力,2006(7):92-94.
Hu Yafei, Zhang Yanjing, Sheng Yusheng. Comparison and selection for the materials performance of carbon seal rings used in medium speed coal mills[J]. Electric Power, 2006(7):92-94.
- [3] 隋敏,胡亚非,贺传勃,等.石墨浸锑材料摩擦磨损特性研究[J].非金属矿,2008(2):66-68.
Sui Min, Hu Yafei, He Chuanbo, et al. Research on friction and wear behaviour of graphite/anti-mony composites [J]. Non-Metallic Mines, 2008(2):66-68.
- [4] 唐仕英,刘晓新,郑开伟,等.纳米石墨/铝基复合材料的摩擦磨损性能[J].机械工程材料,2007,31(3):44-46.
Tang Shiyong, Liu Xiaoxin, Zheng Kaiwei, et al. Friction and wear performance of nano-graphite/Al matrix composite material[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2007, 31(3):44-46.
- [5] 何敏,王启立,孙智,等.浸锑石墨摩擦磨损特性研究[J].

润滑与密封,2006(9):31-35.

He Min, Wang Qili, Sun Zhi, et al. Research on friction and wear behaviour of graphite/antimony composites [J]. Lubrication Engineering, 2006(9):31-35.

- [6] 李江鸿,熊翔,徐惠娟.炭/炭复合材料的摩擦学性能与摩擦磨损机理的研究现状[J].粉末冶金材料科学与工程,2002(9):221-227.

Li Jianghong, Xiong Xiang, Xu Huijuan. Tribological properties of carbon-carbon composites and the wear mechanism [J]. Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy, 2002(9):221-227.

- [7] 易茂中,葛毅成,冯一雷,等.C/C复合材料及高强石墨高温摩擦磨损性能对比研究[J].摩擦学学报,2004,24(3):235-239.

Yi Maozhong, Ge Yicheng, Feng Yilei, et al. Comparative study on the friction and wear behaviors of C/C composites and high-strength graphite at elevated temperature [J]. Tribology, 2004, 24(3):235-239.

- [8] 胡亚非,王启立,隋敏,等.碳素石墨磨损性能与润滑成膜特性研究[J].中国矿业大学学报,2008,37(2):216-219.

Hu Yafei, Wang Qili, Sui Min, et al. Research on wear and forming lubricant film properties of graphite/rosin composite [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(2):216-219.

- [9] 胡亚非.石墨浸锑新材料孔隙逾渗结构与材质性能研究[J].润滑与密封,2006(8):81-84.

Hu Yafei. Research on percolation network and the material properties of the antimony-soaked-in-graphite [J]. Lubrication Engineering, 2006(8):81-84.

2011 年《煤炭学报》征订启事

《煤炭学报》是中国煤炭学会主办的、向国内外发行的煤炭科学技术方面的综合性学术刊物。主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护等方面的科学研究成果论著和学术论文,以及煤矿生产建设、企业管理经验的理论总结,也刊载重要学术问题的讨论及国内外煤炭科学技术方面的学术活动简讯。

《煤炭学报》刊载的论文具有较高的学术价值和文献收藏价值,被 Ei、IEA Coal Abstract CD-ROM、中国科学引文数据库、科学技术文摘速报(日本)、Coal Highlights、中国学术期刊文摘等国内外 20 多种重要文摘检索系统所收录。1992 年荣获首届全国优秀科技期刊评比二等奖,获中国科学技术协会优秀学术期刊二等奖,获北京市新闻出版局、北京市科学技术期刊编辑学会全优期刊奖。1996 年荣获第二届全国优秀科技期刊评比一等奖,获中国科学技术协会优秀科技期刊一等奖。1999 年荣获首届国家期刊奖。2004、2007 年分别入选第三、第六届百种中国杰出学术期刊。2008 年荣获“中国精品科技期刊”称号。2009 年荣获“新中国 60 年有影响力的期刊”称号。

《煤炭学报》深受广大作者、读者的爱护和支持,也受到各级部门的重视,在学术水平上具有较高的地位,很多单位都将在《煤炭学报》发表的论文作为作者学术水平考核指标之一。

《煤炭学报》为月刊,每期 176 页,每册订价 58 元,全年共收费 696 元。欲订阅者可直接与本编辑部联系,编辑部随时办理订阅手续。

本刊地址:北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部 邮政编码:100013

联系电话:(010)84262930 联系人:毕永华

E-mail:mtxbbyh@126.com,mtxb@vip.163.com