

# 球磨制备轴承珠表面自润滑涂层 及其摩擦性能

Preparation and Friction Properties of Self-lubricating  
Layer on Bearing Balls by Ball Milling

谭英梅<sup>1</sup>, 曹国剑<sup>1</sup>, 李 双<sup>1</sup>, 古 乐<sup>2</sup>

(1 哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040;

2 哈尔滨工业大学 机电工程学院, 哈尔滨 150001)

TAN Ying-mei<sup>1</sup>, CAO Guo-jian<sup>1</sup>, LI Shuang<sup>1</sup>, GU Le<sup>2</sup>

(1 School of Materials Science and Engineering, Harbin  
University of Science and Technology, Harbin 150040, China;

2 School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute  
of Technology, Harbin 150001, China)

**摘要:** 通过将  $\text{MoS}_2$  粉末和轴承珠放入真空球磨罐中进行球磨的方法在轴承珠表面制备自润滑涂层。固定球磨转速为 200r/min, 研究不同球磨时间对轴承珠表面制备涂层的影响。采用配有能谱的扫描电子显微镜对球磨不同时间所制备涂层的形貌及元素分布进行观察。结果表明: 随球磨时间的延长, 涂层表面形貌变化不大, 涂层厚度先增加后减小, Mo 的分布先均匀后分散, 球磨 5h 后涂层的厚度及元素的均匀性最佳。制备涂层的摩擦测试结果表明: 球磨 1h 和 5h 所制备的涂层具有明显的润滑效果, 而球磨 10h 的润滑效果不明显。球磨 5h 所制备的涂层具有最佳的润滑效果。

**关键词:** 轴承珠; 二硫化钼; 行星式球磨; 摩擦

**doi:** 10.11868/j.issn.1001-4381.2015.09.004

**中图分类号:** TB43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2015)09-0019-06

**Abstract:** A self-lubricating layer on bearing balls was fabricated by ball milling of  $\text{MoS}_2$  powder in a vacuum container with bearing balls. The influence of ball milling time on the self-lubricating layer at the rotation speed of 200r/min was investigated. The morphology and elements distribution of the self-lubricating layers under different ball milling time were observed using the scanning electron microscope and EDS spectrum analysis. The results show that with ball milling time, the coating surface morphology changes little, thickness of the lubricating layer increases firstly and then decreases, Mo is distributed first evenly and then dispersely. Thickness and uniformity of element in the coating surface after ball milling for 5h are the best. The friction test results of the coatings show that lubricating effect is obvious with the ball milling for 1h and 5h while the lubricating effect is not obvious with ball milling for 10h. The self-lubricating layer fabricated by the ball milling for 5h has the best lubricating effect.

**Key words:** bearing ball;  $\text{MoS}_2$ ; planetary ball milling; friction

现代化工业迅速发展, 润滑油与润滑脂不能满足机械零件在真空高温等特殊条件下的润滑要求, 此时需要改进润滑方法和润滑材料<sup>[1,2]</sup>。固体润滑适用于高温、高负荷、真空等特殊环境<sup>[3-5]</sup>, 满足了苛刻条件下的润滑要求。固体润滑剂之所以能减少摩擦是因为摩擦时在对偶材料表面形成转移膜, 这样摩擦便发生在润滑剂内部<sup>[6]</sup>。常见的固体润滑材料有石墨, 类金刚石,  $\text{MoS}_2$  等, 这些固体润滑剂常被涂覆在磨损件表

面达到减磨的效果。固体润滑涂层的制备方法有黏结<sup>[7]</sup>、溅射<sup>[8]</sup>、离子镀膜<sup>[9]</sup>、喷涂<sup>[10]</sup>和沉积<sup>[11]</sup>等方法。近年来作为固体润滑的研究热点, 国外已经成功应用的有 PVD 和 CVD 技术, 在机械零件的摩擦表面涂覆固体润滑剂<sup>[12]</sup>, 然而 PVD 和 CVD 法制备的涂层结合强度较低, 工艺复杂, 成本昂贵<sup>[13,14]</sup>。尤其在球表面上获得均匀的涂层仍然是一个难题, 所以越来越多的研究人员开始探索其他途径来制备涂层。

机械球磨法被用于制备先进新材料<sup>[15-18]</sup>。球磨是磨球、物料、球磨罐三者之间不断地撞击和研磨的过程<sup>[19,20]</sup>,在这一过程中材料转移到球磨珠和球磨罐上,本课题组利用这一现象成功地在轴承珠表面制备了固体自润滑涂层<sup>[21]</sup>,本工作采用行星式球磨法在轴承珠表面制备 MoS<sub>2</sub> 涂层,研究球磨时间对固体润滑涂层表面状态的影响规律,并考察润滑层的摩擦性能。

1 实验

1.1 实验材料

采用直径为 9mm 的 GCr15 轴承珠,固体润滑剂选用粉末状的 MoS<sub>2</sub>。

1.2 实验方法

球磨采用 QM-3SP4 行星式球磨机进行。首先将轴承珠在无水乙醇中进行超声清洗,然后吹干。将一定配比的轴承珠和 MoS<sub>2</sub> 粉末放入真空球磨罐中,然后对球磨罐抽真空,充氩气,反复 3 次,以防止球磨过程中 MoS<sub>2</sub> 的氧化。球磨转速为 200r/min,球磨时间分别为 1,5,10h。

采用配备能谱的扫描电子显微镜(FEI-Sirion)对涂层的形貌以及成分进行表征。涂层的摩擦性能采用自制销盘式真空摩擦磨损试验机进行测试,真空压强

为  $1.5 \times 10^{-2}$  Pa,摩擦线速度为 15.7,31.4mm/s,载荷分别为 0.49N 和 0.98N。

2 结果与讨论

2.1 MoS<sub>2</sub> 润滑层的形貌

本课题组的前期结果<sup>[17]</sup>表明球磨转速为 200r/min 制备的润滑层与基体结合较好,为进一步优化球磨时间,将 MoS<sub>2</sub> 粉末与轴承珠放在球磨机中以 200r/min 转速分别球磨 1,5h 和 10h。

图 1 为转速 200r/min 球磨不同时间后轴承珠的截面照片及线扫描结果。线扫描的结果表明,球磨不同时间的轴承珠表层均由两部分组成,分别为靠近心部的作用层和靠近表面的润滑层。作用层是在球磨过程中,由于碰撞引起的表层组织变化,也有一部分 Mo 和 S 元素通过扩散进入该层。球磨 1h 的轴承珠表面 Fe,Mo 和 S 元素存在含量的突变,表面 Mo 和 S 的含量较高。润滑层与基体的结合较弱,存在裂纹。这部分的作用层厚度约为 13μm,润滑层厚度约为 8μm。球磨 5h 后,轴承珠表面润滑层和作用层的厚度均增加,分别为 27μm 和 63μm。球磨 10h 后润滑层不明显,作用层的厚度约为 49μm。随球磨时间的延长,润滑层的厚度先增加后减小。

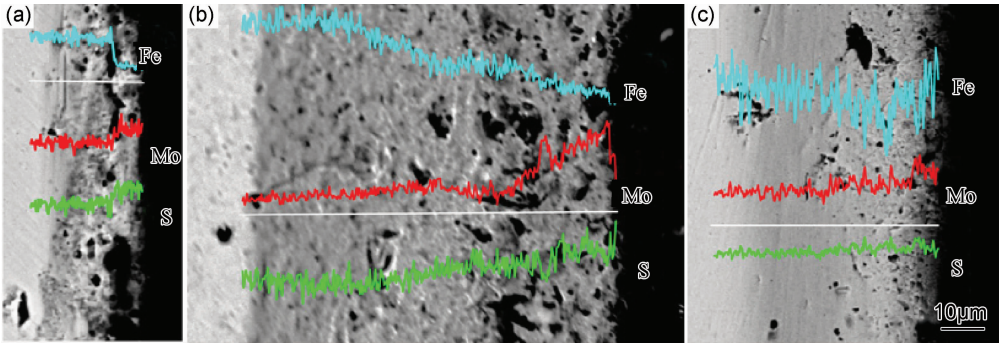


图 1 在转速 200r/min 球磨不同时间后带有自润滑层的截面照片及线扫描 (a)1h;(b)5h;(c)10h  
Fig. 1 The cross section images and linear scanning results of the self-lubricating layers fabricated after ball milling for different time at 200r/min (a)1h;(b)5h;(c)10h

图 2(a)是球磨 1h 后轴承珠的表面形貌照片,可以看出表面有明显的起伏。图 2(b),(c)是对轴承珠表面进行了 Fe 和 Mo 的元素面扫描,结果显示 Fe 和 Mo 的分布都不均匀。对比面扫描结果,Mo 多的地方 Fe 的含量就少。

图 3 是球磨 5h 后轴承珠表面润滑层的形貌和面扫描照片,可以看出轴承珠表面的涂层均匀性较好。

图 4 是球磨 10h 后轴承珠表面润滑层的形貌和面扫描照片。图 4(a)显示球磨后的轴承珠表面比较平

整。但图 4(b),(c)显示 Fe,Mo 分布极不均匀,在局部区域出现了线状或块状的无 Fe 富 Mo 分布区。

在球磨过程中,一方面 MoS<sub>2</sub> 粉末在轴承珠的撞击下涂覆在轴承珠的表面;另一方面,轴承珠之间以及与罐壁的撞击会导致涂覆在轴承珠表面的粉末脱落,两者共同作用。在球磨初期,第一个起决定作用,主要是 MoS<sub>2</sub> 转移到轴承珠上,然而,由于球磨时间短,轴承珠表面的 MoS<sub>2</sub> 也就不能均匀涂覆。所以能够看到表面形貌有明显凹凸不平,凸起的片状为 MoS<sub>2</sub> 涂层,

导致轴承珠表面元素分布不均匀,如图 2 所示。

随着球磨时间的延长,涂覆在轴承珠表面的  $\text{MoS}_2$  粉末逐渐增多增厚,由于碰撞而导致涂层剥落的现象逐渐增加,最后涂覆与脱落相当,同时,轴承珠的相互摩擦作用使得轴承珠表面涂层的厚度更加均匀,如图 3 所示。

球磨后期,轴承珠之间的碰撞加剧,导致涂层剥落,Mo 含量急剧降低。本课题组之前的研究结果<sup>[17]</sup>

表明在球磨制备的涂层中不仅有  $\text{MoS}_2$ , 还有  $\text{FeS}$  和  $\text{FeMo}$  的化合物。这是由于在球磨过程中,钢球的动能转化为热能在碰撞点产生较高的温度,并且球磨过程中导致  $\text{MoS}_2$  粉末中存在较多的缺陷,降低了反应的激活能,从而导致  $\text{MoS}_2$  与  $\text{Fe}$  之间发生化学反应。值得一提的是  $\text{FeS}$  亦为层片状结构<sup>[22]</sup>, 具有很好的润滑效果,降低摩擦因数以提高耐磨性<sup>[23,24]</sup>。然而随着球磨的进行,反应程度增加,润滑层会脱落,虽然

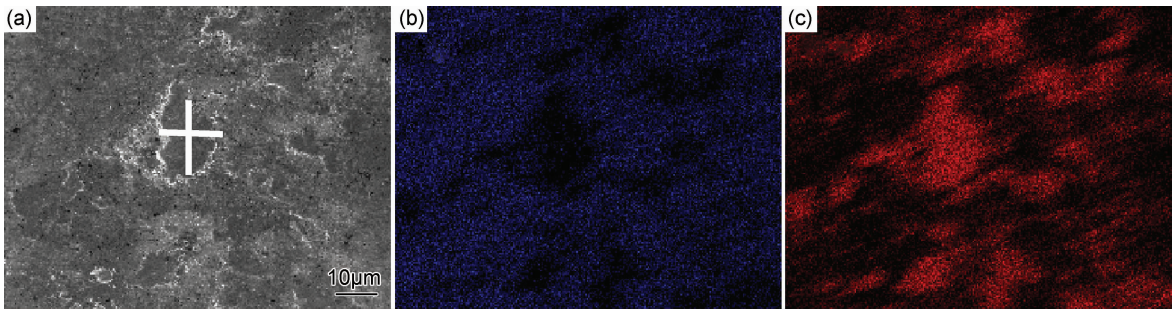


图 2 在转速 200r/min 球磨 1h 后轴承珠表面润滑层的形貌与面扫描 (a)表面形貌;(b)Fe 面扫描;(c)Mo 面扫描

Fig. 2 The surface morphology and surface scanning of the self-lubricating layer fabricated after ball milling for 1h at 200r/min (a)surface morphology; (b)Fe-element surface scanning;(c)Mo-element surface scanning

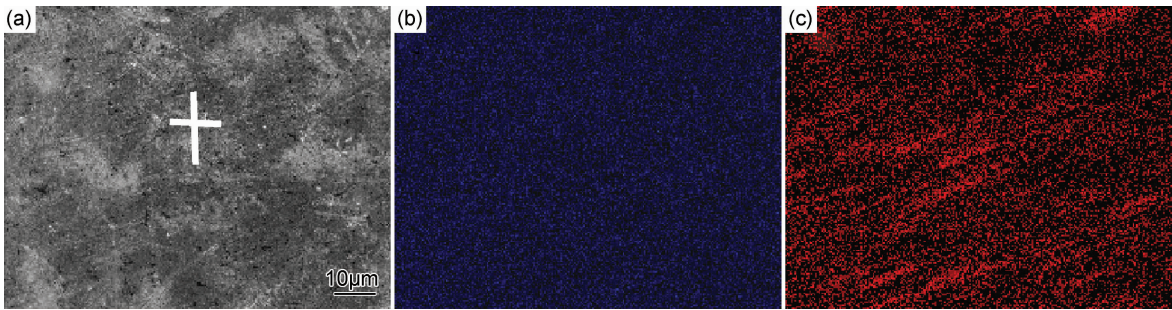


图 3 在转速 200r/min 球磨 5h 后轴承珠表面润滑层的形貌与面扫描 (a)表面形貌;(b)Fe 面扫描;(c)Mo 面扫描

Fig. 3 The surface morphology and surface scanning of the self-lubricating layer fabricated after ball milling for 5h at 200r/min (a)surface morphology; (b)Fe-element surface scanning;(c)Mo-element surface scanning

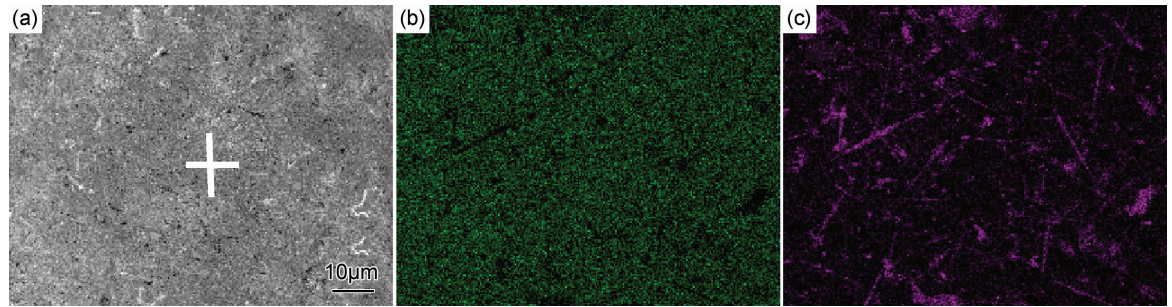


图 4 在转速 200r/min 球磨 10h 后轴承珠表面润滑层的形貌与面扫描 (a)表面形貌;(b)Fe 面扫描;(c)Mo 面扫描

Fig. 4 The surface morphology and surface scanning of the self-lubricating layer fabricated after ball milling for 10h at 200r/min (a)surface morphology; (b)Fe-element surface scanning;(c)Mo-element surface scanning

MoS<sub>2</sub> 和 FeS 有良好的润滑性能,但是 FeMo 是一种金属间化合物,会增大磨损,而且 FeMo 作为一种硬质点会在球磨过程中划伤轴承珠表面,这是导致 Fe 分布不均匀的原因。而划伤的地方又可以由 MoS<sub>2</sub> 填充,因此在无 Fe 分布的位置出现较多的 Mo,如图 4 所示。

结合上述结果可以看到转速 200r/min 球磨 5h 后能够在轴承珠表面形成均匀的润滑层。

2.2 MoS<sub>2</sub> 润滑层的摩擦性能

对转速 200r/min 球磨不同时间后制备的润滑层进行了摩擦性能测试。由于滚动摩擦的测量较难,因此摩擦实验采用销盘式摩擦测试,以 45 号钢作为摩擦副,记录摩擦因数随时间的变化趋势。为进一步检测 200r/min 球磨不同时间形成的 MoS<sub>2</sub> 润滑层的润滑效果,分别在线速度 15.7, 31.4mm/s, 载荷 0.49, 0.98N 的实验条件下进行研究,摩擦因数随时间的变化曲线如图 5 所示。图 5(a) 为球磨 1h 时所制备润滑层的摩擦特性曲线,由曲线可知线速度为 15.7mm/s、载荷 0.49N 时,摩擦因数随时间基本不变,维持在 0.1 附近;但当线速度为 15.7mm/s、载荷 0.98N 时,摩擦因数在 300s 后急剧上升,摩擦变得激烈;而当线速度为 31.4mm/s、载荷 0.98N 时,即滑动条件变得更恶劣,可以看到摩擦曲线在很短时间内就上升到 0.4。这是由于滑动摩擦状况要比滚动摩擦恶劣,而且由于是点接触,作用在涂层上的载荷较大,导致润滑膜在滑动摩擦下容易破坏,此外这个条件下制备的自润滑膜的厚度薄,与基体结合弱,因此在摩擦较短时间后润滑膜脱落,导致轴承珠直接与摩擦副相摩擦而导致摩擦因数发生突变。

对于转速 200r/min 球磨 5h 时形成的 MoS<sub>2</sub> 润滑层,由摩擦曲线图 5(b) 可知在较低的摩擦线速度下,时间达到 1000s 时,摩擦因数仍然变化不大,基本呈平稳趋势,维持在 0.1 附近,说明 200r/min 球磨 5h 时形成的 MoS<sub>2</sub> 润滑层润滑效果最好。当摩擦线速度为 31.4mm/s, 载荷 0.98N 的情况下,润滑膜的摩擦因数在 500s 后才出现突变。实际应用中轴承珠为滚动摩擦,可以预见在滚动摩擦过程中 200r/min 球磨 5h 时形成的 MoS<sub>2</sub> 润滑层润滑效果更好。

图 5(c) 为球磨时间 10h 时制备的润滑涂层的摩擦性能曲线。可以看出该条件下制备的润滑层在摩擦线速度为 15.7mm/s, 载荷为 0.49N 和 0.98N 下摩擦时摩擦因数在初始时就增加到 0.45。虽然在摩擦线速度为 31.4mm/s, 载荷为 0.98N 下摩擦初始时具有较低的摩擦因数,然而摩擦 200s 后发生突变。从图 4

中可以看出 Mo 的分布很不均匀,在摩擦过程中,与摩擦副接触的位置亦有区别,当无 Mo 的区域与摩擦副接触时,相当于轴承珠与摩擦副直接接触,没有润滑剂,因此摩擦因数大。当 Mo 集中的区域与摩擦副接触时,会起到润滑效果,然而从图 4 中可以看出 Mo 主要分布在明显的缺陷处,由于是点接触,载荷较大,该处的润滑剂在摩擦过程中会很快消耗。当摩擦副与该处的轴承珠发生接触时,由于该处是缺陷位置,粗糙度大,从而导致摩擦因数的大幅增加,随着摩擦的进行,该处的缺陷会逐步磨平,粗糙度降低引起摩擦因数的减小。

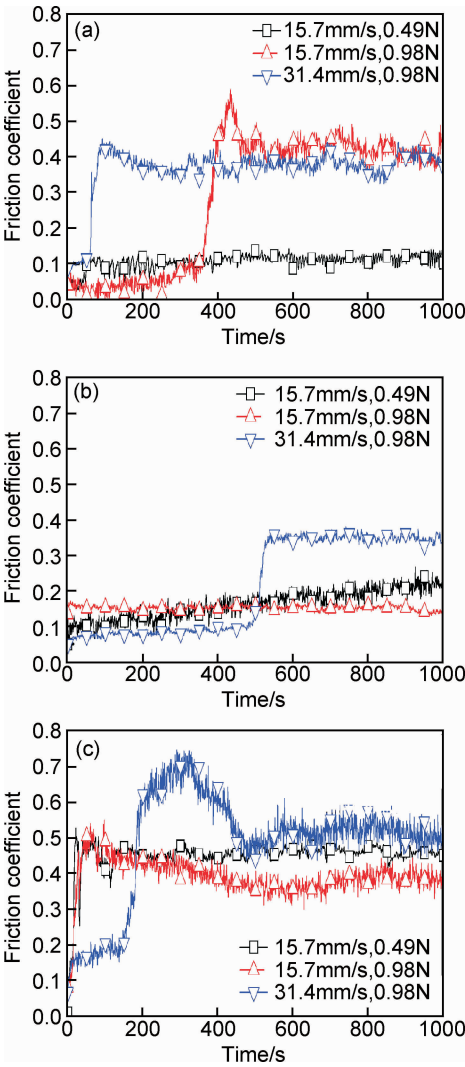


图 5 在转速 200r/min 球磨不同时间后带有自润滑层的轴承珠的滑动摩擦曲线 (a) 1h; (b) 5h; (c) 10h  
Fig. 5 The friction curves of the self-lubricating layers fabricated after ball milling for different time at 200r/min (a) 1h; (b) 5h; (c) 10h

综上所述,在 200r/min 转速下球磨 5h 制备的润滑膜具有良好的润滑性能。

### 3 结论

(1)随着球磨时间的延长,Mo的分布先均匀后分散,球磨时间过长会在轴承珠表面产生较多的缺陷,球磨时间为5h,转速为200r/min时,MoS<sub>2</sub>涂层最均匀。

(2)转速200r/min球磨不同时间对所制备的润滑层的润滑效果有明显的影响。球磨1h所制得的润滑层有较好的润滑效果,然而润滑层与轴承珠的结合差,在较短的时间内发生剥离;5h时所制得的MoS<sub>2</sub>润滑层摩擦性能最好,当摩擦线速度为31.4mm/s,载荷0.98N的条件下摩擦因数仍较低,在摩擦500s后摩擦因数才发生突变。所制备的润滑层能够起到良好的润滑效果。球磨时间为10h制备的润滑层的摩擦因数变化较大,润滑效果差。

#### 参考文献

- [1] CAO Y X, DU L Z, HUANG C B, et al. Wear behavior of sintered hexagonal boron nitride under atmosphere and water vapor ambiances[J]. Applied Surface Science, 2011, 257(23): 10195—10200.
- [2] ZHU S Y, BI Q L, YANG J, et al. Influence of Cr content on tribological properties of Ni<sub>3</sub>Al matrix high temperature self-lubricating composites[J]. Tribology International, 2011, 44(10): 1182—1187.
- [3] 潘国梁, 乔红斌, 郭强. 复合型固体润滑膜的滚动/滑动复合干磨损特性[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(增刊): 298—302.  
PAN Guo-liang, QIAO Hong-bin, GUO Qiang. Dry rolling/sliding wear characteristics of solid lubricating composite films[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(Suppl): 298—302.
- [4] 乔红斌, 郭强, 潘国梁, 等. 粉末涂料固体润滑膜滚动/滑动复合干摩擦磨损特性研究[J]. 润滑与密封, 2006, (3): 47—49.  
QIAO Hong-bin, GUO Qiang, PAN Guo-liang, et al. Friction and wear characteristics of the polymer powder coatings for solid lubrication under the dry rolling/sliding condition[J]. Lubrication Engineering, 2006, (3): 47—49.
- [5] 陈建敏, 冶银平, 党鸿辛. 粘结固体润滑膜及其应用[J]. 摩擦学报, 1994, 14(2): 180—189.  
CHEN Jian-min, YE Yin-ping, DANG Hong-xin. Developing situation and application of bonded solid lubricant films[J]. Tribology, 1994, 14(2): 180—189.
- [6] 严晓华, 陈国需. 固体润滑技术的研究现状及展望[J]. 能源研究与信息, 2005, 21(2): 69—73.  
YAN Xiao-hua, CHEN Guo-xu. Current development and future prospects on solid lubricating techniques[J]. Energy Research and Information, 2005, 21(2): 69—73.
- [7] 罗军, 王运动, 蔡振兵, 等. 粘结 MoS<sub>2</sub> 固体润滑涂层的转动微动磨损特性[J]. 机械工程学报, 2012, 48(17): 100—105.
- [8] LUO Jun, WANG Yun-dong, CAI Zhen-bing, et al. Rotational fretting wear characteristics of bonded molybdenum disulfide solid lubrication coating[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(17): 100—105.
- [8] 王小静, 邵红红, 王季. 射频磁控溅射法制备 MoS<sub>2</sub>/SiC 双层薄膜[J]. 机械工程材料, 2012, 36(2): 68—71.  
WANG Xiao-jing, SHAO Hong-hong, WANG Ji. MoS<sub>2</sub>/SiC double films prepared by radio frequency magnetron sputtering[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2012, 36(2): 68—71.
- [9] YANG J, LUO J B, PANG S Q. Effect of Ti or TiN codeposition on the performance of MoS<sub>2</sub> based composite coatings[J]. Thin Solid Films, 2004, 461(2): 288—293.
- [10] 高名传, 童向阳, 汪洪生. 热喷涂法制备钼系涂层的研究进展[J]. 中国钼业, 2014, 38(6): 41—47.  
GAO Ming-chuan, TONG Xiang-yang, WANG Hong-sheng. Research progress of Mo-based coatings fabricated by thermal spray technology[J]. China Molybdenum Industry, 2014, 38(6): 41—47.
- [11] WEI R H, YANG H B, DU K, et al. Preparation of type-II MoS<sub>2</sub> film by chemical bath deposition onto Si coated with electrolessly Ni[J]. Materials Science and Engineering: B, 2007, 138(3): 259—262.
- [12] SPALVINS T. Coatings for wear and lubrication[J]. Thin Solid Films, 1978, 53: 285—300.
- [13] 赵学敏, 汪刘应, 张虎, 等. 固体润滑涂层研究工艺的研究进展[J]. 材料导报, 2013, 27(22): 68—71.  
ZHAO Xue-min, WANG Liu-ying, ZHANG Hu, et al. Research progress on the preparation of solid lubricating coatings[J]. Materials Review, 2013, 27(22): 68—71.
- [14] 刘政军, 冯丽峰, 成明华, 等. 材料表面改性技术原理分析[J]. 现代焊接, 2008, (8): 21—25.  
LIU Zheng-jun, FENG Li-feng, CHENG Ming-hua, et al. Brief analysis of the principle of material surface modification technology[J]. Modern Welding Technology, 2008, (8): 21—25.
- [15] YOSHIDA H, LU Y, NAKAYAMA H, et al. Fabrication of TiO<sub>2</sub> film by mechanical coating technique and its photocatalytic activity[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009, 475(1—2): 383—386.
- [16] HAO L, LU Y, SATO H, et al. Fabrication of zinc coatings on alumina balls from zinc powder by mechanical coating technique and the process analysis[J]. Powder Technology, 2012, 228: 377—384.
- [17] HAO L, LU Y, HIROSHI A, et al. The influence of the processing parameters on the formation of iron thin films on alumina balls by mechanical coating technique[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212(5): 1169—1176.
- [18] LU Y, YOSHIDA H, NAKAYAMA H, et al. Formation of TiO<sub>2</sub>/Ti composite photocatalyst film by 2-step mechanical coating technique[J]. Materials Science Forum, 2011, 675—677: 1229—1232.
- [19] ROSENKRANZ S, BREITUNG-FAES S, KWADE A. Experimental investigations and modeling of the ball motion in planetary ball mills[J]. Powder Technology, 2011, 212(1):

224—230.

[20] ERDEM A S, ERGÜN S L. The effect of ball size on breakage rate parameter in a pilot scale ball mill[J]. Minerals Engineering, 2009, 22(7—8): 660—664.

[21] GU L, CAO G J, WANG L Q, et al. Synthesis and characterization of a self-lubricating film on bearing balls[J]. Advanced Materials Research, 2011, 154—155: 367—370.

[22] 韦习成, 赵源. FeS 层的减磨耐磨机理[J]. 润滑与密封, 1994, (2): 12—17.

WEI Xi-cheng, ZHAO Yuan. Anti-friction and wear resistance mechanism of FeS layer[J]. Lubrication Engineering, 1994, (2): 12—17.

[23] 赵军军, 张平, 韩文政. 离子渗硫技术在装甲车辆中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2003, 17(1): 10—14.

ZHAO Jun-jun, ZHANG Ping, HAN Wen-zheng. The appli-

cation of ion sulphidizing process to armored vehicle[J]. Journal of Armored Force Engineering Institute, 2003, 17(1): 10—14.

[24] 王海斗, 徐滨士, 刘家浚, 等. 两步法制备固体润滑 FeS 薄膜的摩擦磨损性能研究[J]. 摩擦学学报, 2005, 25(4): 304—306.

WANG Hai-dou, XU Bin-shi, LIU Jia-jun, et al. Study on the tribological properties of FeS solid lubrication films prepared by two-step method[J]. Tribology, 2005, 25(4): 304—306.

收稿日期: 2014-03-26; 修订日期: 2015-03-25

通讯作者: 古乐(1974—), 男, 教授, 主要从事金属材料摩擦磨损方面研究工作, 联系地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号哈尔滨工业大学机械学院(150001), E-mail: ggggroup@163.com

\*\*\*\*\*

2016 年《炭素技术》杂志征订启事

《炭素技术》杂志创刊于 1982 年, 是国内外公开发行的炭素专业科技期刊。国内统一刊号 CN 22-1147/TQ, 国际标准刊号 ISSN 1001-3741, 广告经营注册号: 220200000101154。办刊宗旨是交流技术、传播信息, 促进炭素工业及炭材料学科技术进步。主要介绍我国炭素工业的生产技术、科学试验、理论研究、经营管理、市场信息, 使用设备的开发与更新, 产品质量检测、环境保护与综合利用、计算机在炭素生产领域应用等方面的经验成果; 报道炭材料学科包括钢铁冶金、有色金属、黄磷、工业硅行业用炭材料及各种新型炭材料等的新产品、新工艺以及炭材料应用技术研究、有关炭材料领域和国外炭素工业先进技术和发展动态。

《炭素技术》设有专家讲座、实验研究、经验交流、综述述评、计算机应用与控制、技术改造、节能环保、行业信息、消息报导、炭素文摘、专利等栏目。

《炭素技术》杂志目前已成为中文核心期刊、中国科技核心期刊, 已加入《中国期刊网》、《中国学术期刊》(光盘版)全文数据库、万方数据系统数字化期刊群、中文科技期刊数据库; 并被美国“化学文摘”(CA)、美国“乌利希期刊指南”(UPD)、俄罗斯“文摘杂志(AJ)”等多种国外大型权威数据库收录; 是《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。

《炭素技术》的发行面覆盖了全国的炭素厂家、有关的科研院所、大专院校及炭素生产用原料、机械设备等生产单位。

本刊为大 16 开版本, 双月刊, 单价 15.00 元, 全年订价 90.00 元。国内邮发代号: 12-308, 全国各地邮局均可订阅, 漏订可与编辑部联系。

地址: 吉林省吉林市哈达湾和平街 9 号《炭素技术》编辑部 邮编: 132002

开户行: 交通银行股份有限公司吉林昌邑支行

户名: 吉林炭素有限公司

帐号: 222511502018010024675 请注明: 订阅《炭素技术》

电话: 0432-62749715(传真) E-mail: tsjsbjb@126.com