

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.08.001

基于仿生结构的 PE-UHMW 水润滑尾轴承的摩擦性能

谭欣然¹, 郭智威^{1,2}, 常铁¹, 胡东¹, 崔旨桃¹

(1. 武汉理工大学能源与动力工程学院, 武汉 430063; 2. 国家水运安全工程技术研究中心可靠性工程研究所, 武汉 430063)

摘要:以鲨鱼皮为仿生对象,通过在超高分子量聚乙烯 (PE-UHMW) 水润滑尾轴承表面设计出菱形和棱条两种表面织构,研究在水润滑条件下 PE-UHMW 的摩擦性能。利用 CBZ-1 船舶轴承摩擦磨损试验机进行滑动摩擦磨损实验并对其摩擦系数进行监测采集,使用表面轮廓仪及超景深显微镜对其表面形貌进行观察,并测量了试样的平均磨损速率。结果表明:在载荷为 0.8 MPa 下,当转速为 50 r/min 时,棱条织构试样短时间内能够有效地降低摩擦系数;但随着转速上升至 150 r/min 和 500 r/min 时,棱条织构恶化了 PE-UHMW 试样的摩擦性能,而菱形织构试样的摩擦系数一直低于无织构试样;在转速为 150 r/min 状态下,随着载荷从 0.4 MPa 增加到 0.8 MPa,三种试样的平均摩擦系数及平均磨损速率逐渐上升,同时两种织构对 PE-UHMW 试样表面的摩擦性能起到不同程度的改善作用。

关键词:超高分子量聚乙烯; 鲨鱼皮; 仿生表面织构; 水润滑尾轴承; 摩擦性能

中图分类号: TH117.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)08-0001-06

Tribological Properties of PE-UHMW Water Lubricated Tail Bearing Based on Biomimetic Structure

Tan Xinran¹, Guo Zhiwei^{1,2}, Chang Tie¹, Hu Dong¹, Cui Zhitao¹

(1. School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;

2. Reliability Engineering Institute, National Engineering Research Center for Water Transportation Safety, Wuhan 430063, China)

Abstract : The surface textures of diamond and ribs were designed on the surface of ultrahigh molecular weight polyethylene (PE-UHMW) samples using shark skin as the bionic object. The friction properties of PE-UHMW under water lubrication conditions were studied. The sliding friction tests were carried out by CBZ-1 ship bearing friction and wear tester. The friction coefficients were monitored and collected during the test. The worn surface topographies profile was observed by using the surface profiler and super-depth microscope. The average wear rate of sample was measured before and after the test. The results show that the ribbed textures can effectively reduce the friction coefficient in a short time under at the load of 0.8 MPa when the rotational speed is of 50 r/min, but it deteriorate the tribological properties with the increase of the rotation speed reach to 150 r/min and 500 r/min. While the friction coefficient of diamond texture sample is lower than the un-texture sample. The friction coefficient and the wear per minute of the three kinds of samples are gradually increased with the load increasing from 0.4 MPa to 0.8 MPa at the rotational speed of 150 r/min. The two kinds of texture improve the friction properties of PE-UHMW samples at different degrees.

Keywords : ultrahigh molecular weight polyethylene ; shark skin ; biomimetic surface texture ; water lubricated tail bearing ; tribological property

随着“绿色船舶”及“环境友好型船舶”的理念逐渐深入人心,开发出高效、无污染的水润滑尾轴承不仅有利于节约矿物油及贵重金属,满足当前环境需求,而且对提高轴系效率进而提升船舶能效具

有重要意义。超高分子量聚乙烯 (PE-UHMW) 由于具有常规工程塑料难以企及的分子量,使其拥有良好的自润滑性、耐冲击性以及较低的摩擦系数^[1-2],近年来逐渐发展成为水润滑尾轴承材料的新宠,

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目 (51509195), 高技术船舶科研项目极地甲板机械及核心部件关键技术研究 (工信部联装 [2014]508 号), 武汉理工大学自主创新基金团队培育项目 (2017-ND-A1-01)

通讯作者: 郭智威, 博士, 副教授, 研究方向: 船舶动力机械摩擦学及表界面技术 E-mail : zwguo@whut.edu.cn

收稿日期: 2018-05-22

引用格式: 谭欣然, 郭智威, 常铁, 等. 基于仿生结构的 PE-UHMW 水润滑尾轴承的摩擦性能 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(8) : 1-6.

Tan Xinran, Guo Zhiwei, Chang Tie, et al. Tribological properties of PE-UHMW water lubricated tail bearing based on biomimetic structure[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8) : 1-6.

Schneider^[3] 报告美国军方在水下潜艇中已经运用了整体式 PE-UHMW 水润滑轴承,但目前针对其摩擦性能研究的公开报道中主要集中在生物医学等方面,而针对其作为水润滑尾轴承材料工况下的磨损机理及数据还鲜有报道。

由于 PE-UHMW 抗磨粒磨损性能较差,使润滑介质中的颗粒物及磨损过程中产生的磨粒极易对其造成磨粒磨损^[4-6],从而制约了其使用性能。表面织构技术作为改善材料表面摩擦性能的有效手段一直被广泛应用,在动压润滑及混合润滑状态下,织构可以充当微动压轴承,提高润滑膜承载力^[7];在边界润滑及干摩擦状态下,织构可以提供润滑液和储存磨粒,进而提高材料的耐磨性^[8]。近年来,基于仿生理念的表面织构设计在提高摩擦副表面的润滑性及耐磨性等方面得到了有效的应用,其中最为典型的便是以鲨鱼皮表面盾鳞及其上肋条为仿生对象,研究发现,这种形状类似于有序排列的沟槽结构,可以减小水流阻力以及降低海洋生物的附着淤积,并且基于此的仿生微结构设计已经在船体防污减阻以及管道输油减阻等方面得到了广泛应用^[9-10]。笔者以鲨鱼皮表面盾鳞及肋条为仿生对象,利用精密数控机床技术在水润滑尾轴承材料 PE-UHMW 表面分别加工出菱形织构及棱条织构,并在水润滑条件下对其进行摩擦磨损实验,旨在为水润滑轴承材料表面织构设计及摩擦性能提升提供实验依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PE-UHMW 粉末: GUR4150, 分子量约为 150 万, 美国 Ticona 公司。

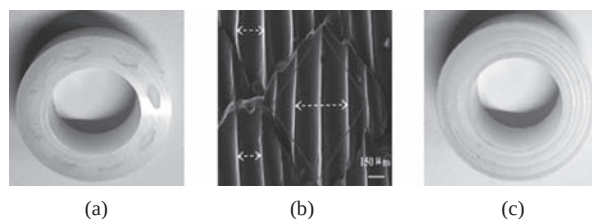
1.2 主要仪器与设备

船舶轴系摩擦磨损试验机: CBZ-1 型, 自制;
激光干涉位移表面轮廓仪: L1 型, 华中科技大学;
精密分析天平: ML54 型, 梅特勒-托利多公司。

1.3 试样制备

将 PE-UHMW 粉末在 80℃ 烘干 4 h, 除去水分, 然后在 200℃, 10 MPa 条件下热压烧结成型, 将成型产品利用机加工方式加工成实验要求的试样, 内径和外径分别为 18 mm 和 30 mm。

对试样进行表面仿生鲨鱼皮纹理加工。利用精密数控机床在 PE-UHMW 表面制备出菱形及棱条织构, 通过程序设计准确控制车刀运动轨迹, 从而确保尺寸精确, 加工后去除织构边缘毛刺。图 1 为试样与鲨鱼皮图片。



(a) 菱形织构试样; (b) 鲨鱼皮; (c) 棱条织构试样

图 1 织构试样及仿生鲨鱼皮照片

1.4 性能测试

(1) 实验前的准备。

由于真实船舶中不允许安装传感器采集数据。故在自行设计的 CBZ-1 型船舶轴系摩擦磨损试验机进行模拟实验, 该试验机的转速范围为 50 ~ 2000 r/min, 载荷范围为 0 ~ 500 N, 最大测试扭矩为 2 N·m, 转速的测试精度为 $\pm 1\%$, 载荷的测试精度为 $\pm 5\%$ ^[11]。

PE-UHMW 试样与锡青铜盘 (ZCuSn10Zn2) 组成环-环摩擦副, 接触面积为 452 mm²; 实验前用砂纸对锡青铜盘进行抛光, 利用超声波对每组试样清洗 10 min。在测试过程中, PE-UHMW 试样固定在下方 (浸没在蒸馏水中) 保持不动, 锡青铜盘在上方并相对 PE-UHMW 试样表面做旋转运动, 然后对相关数据进行采集。

(2) 摩擦系数。

参考美军标 MIL-DTL-17901C-2005, 分别对无织构试样及两种纹理试样设定低载荷 0.4 MPa 及高载荷 0.8 MPa 两种载荷, 每种载荷下设定低速 (50 r/min)、中速 (150 r/min) 和高速 (500 r/min) 三种运行工况。基于虚拟仪器软件开发平台 Labview 的测试系统对实验过程中的转速、摩擦系数及载荷等参数进行实时监测与采集, 摩擦系数 (μ) 按式 (1) 计算:

$$\mu = \frac{T}{rF} \quad (1)$$

式中: T ——摩擦力矩;

r ——旋转半径;

F ——施加载荷。

将实验后的试样在 50℃ 烘干烤箱中烘干 30 min, 然后利用精密分析天平称重试样磨损前后的磨损质量。为确保结果准确, 对每组试样磨损前后的磨损质量进行 3 次称重, 取 3 次平均值, 计算在时间为 2 h 工况下的平均磨损速率。

(3) 粗糙度。

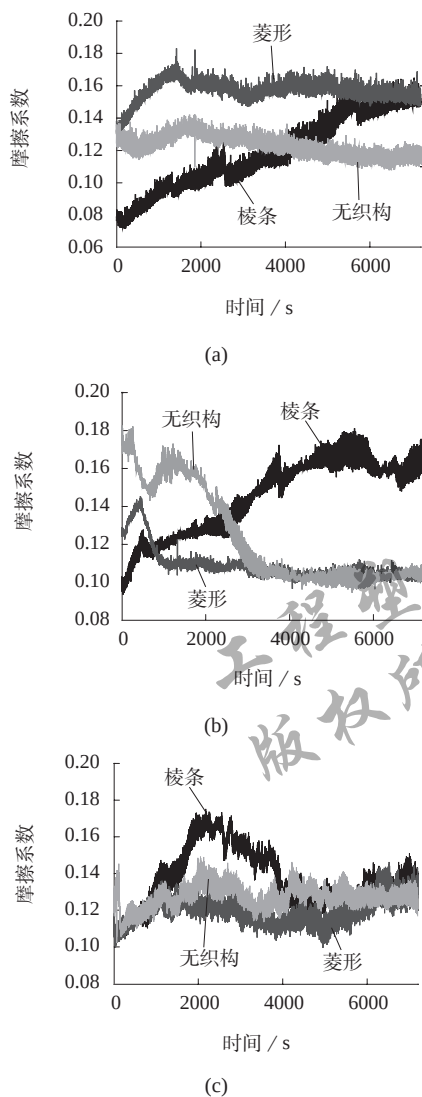
实验结束后, 依照 GB/T 3505-2009, 利用激光

干涉位移表面轮廓仪测量 PE-UHMW 试样的表面粗糙度。

2 结果与讨论

2.1 不同转速下的摩擦系数分析

图 2 为三种试样分别在载荷为 0.8 MPa 下的摩擦系数随转速变化的曲线。



转速: a—50 r/min ; b—150 r/min ; c—500 r/min

图 2 载荷为 0.8 MPa 下摩擦系数随转速变化的曲线

由图 2 可以看出,在 50,150,500 r/min 三种转速下,不同结构形貌试样展现出不同的摩擦特性。

从图 2a 可以看出,在低速 50 r/min 状态下,前 1000 s 为磨合期,三种试样的摩擦系数均处于上升趋势;磨合期后无织构试样的摩擦系数在 0.13 μm 上下波动,菱形织构试样的摩擦系数要高于无织构试样,在 0.16 μm 上下波动,而棱条织构试样在时间小于 4000 s 时的摩擦系数小于无织构试样,当时间大于 4000 s 后,棱条织构试样的摩擦系

数增大并高于无织构试样,且棱条织构试样的摩擦系数趋于 0.16 μm ,逐渐趋于菱形织构试样的摩擦系数。表明在 4000 s 之前棱条织构能够有效降低 PE-UHMW 试样的摩擦系数;在 4000 s 以后,由于棱条织构试样表面产生磨粒,随着时间的增加产生的磨粒逐渐增多,导致棱条织构试样的摩擦系数呈上升趋势。

从图 2b 可以看出,在转速 150 r/min 状态下,前 1000 s 为磨合期,磨合期后无织构试样的摩擦系数呈下降趋势,最后在 0.11 上下波动。菱形织构试样的摩擦系数在 3000 s 之前时低于无织构试样,在 3000 s 之后菱形织构试样的摩擦系数在无织构试样的摩擦系数附近波动。说明菱形织构能够有效地降低试样的摩擦系数。棱条织构试样的摩擦系数在 3000 s 前小于无织构试样,但一直处于上升趋势,在 3000 s 后的摩擦系数大于无织构试样的摩擦系数,随着实验时间的延长,其摩擦系数上升趋势明显,最终摩擦系数在 0.16 上下波动。

从图 2c 可以看出,当转速达到 500 r/min 时,由于前 1000 s 为磨合期,磨合期后无织构试样的摩擦系数在 0.13 上下波动;棱条织构试样在 4000 s 以前其摩擦系数高于无织构试样,在 4000 s 以后其摩擦系数变化不大;而菱形织构试样的摩擦系数在 6000 s 以前低于无纹理试样,在 6000 s 以后其摩擦系数在无织构试样的摩擦系数附近波动。

分析原因在于:在低速 50 r/min 状态下,摩擦副处于边界润滑状态,彼此之间难以形成水膜,菱形织构试样在低速下不能促进流体动压的形成,而织构难免增加了材料表面粗糙度,此时其粗糙峰在低速状态下逐渐与锡青铜盘之间发生对磨,导致摩擦系数升高;棱条织构试样在低速状态下在单位时间内与锡青铜盘的接触次数较少,不会产生大量的磨粒,因此其棱条结构试样不会发生较为严重的磨损,而这种棱条织构将摩擦副之间的面-面接触转变为线-面接触,降低了表面的粘附力,最终降低了摩擦系数,但是随着时间的增加,产生的磨粒逐渐增多,棱条织构试样磨损加重,摩擦系数增大。随着转速上升到 150 r/min,摩擦副之间的流体动压效应增强,菱形织构的存在可以提供充分的液体来使水膜变厚,也可以对摩擦过程中所产生的磨粒进行容纳,防止产生磨粒磨损;随着转速上升到 150 r/min,棱条织构试样与锡青铜盘之间接触的次数逐渐增加,摩擦过程中所产生的磨粒逐渐变多,开始阶段磨

粒储存在环槽中可以防止磨粒磨损的产生,但随着棱条织构被磨损殆尽,磨粒在摩擦副之间造成三体摩擦的形成,导致摩擦系数逐渐上升;随着转速继续升高至 500 r/min 时,菱形织构 6000 s 以前能有效地改善试样的摩擦性能,并且此时产生了较为理想的流体动压效应^[12],水膜可以隔开摩擦副,进而使摩擦系数下降,而棱条织构试样在高速下很快磨损殆尽,产生了较为严重的磨粒磨损,并且由于磨粒的存在使摩擦系数产生了较为严重的波动。

2.2 不同载荷下的摩擦性能分析

在转速为 150 r/min、测试时间为 2 h、载荷分别为 0.4 MPa 及 0.8 MPa 工况下,试样的平均摩擦系数及平均磨损速率如图 3 所示。

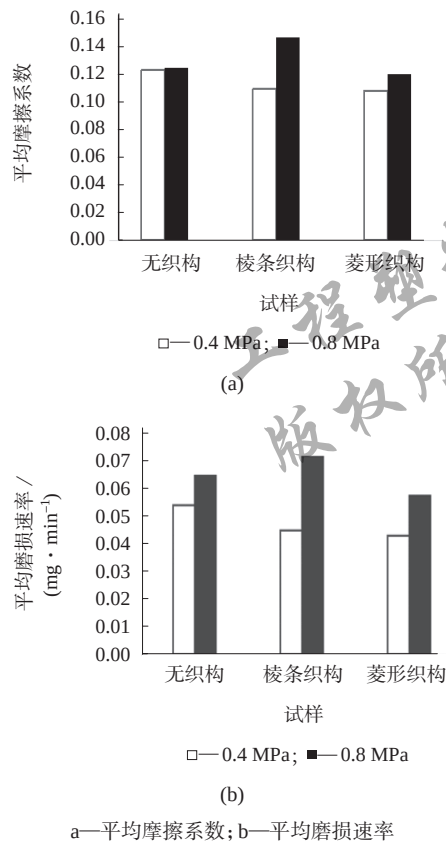
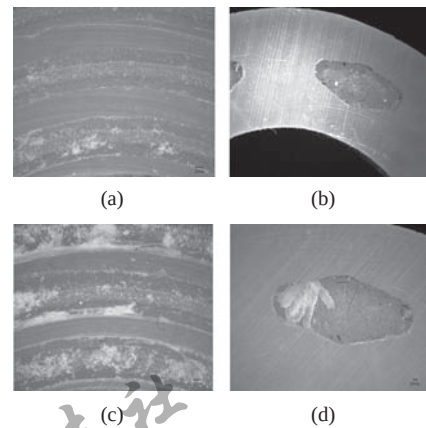


图3 不同载荷下的平均摩擦系数及平均磨损速率

从图3可以看出,当载荷由 0.4 MPa 增加到 0.8 MPa 时,无织构试样的平均摩擦系数由 0.1204 增加到 0.1211,平均磨损速率由 0.054 mg/min 增加到 0.066 mg/min;棱条织构试样的平均摩擦系数由 0.1131 增加到 0.1479,平均磨损速率由 0.044 mg/min 增加到 0.071 mg/min;菱形织构试样的平均摩擦系数由 0.1114 增加到 0.1203,平均磨损速率由 0.043 mg/min 增加到 0.058 mg/min。

三种试样的平均摩擦系数及平均磨损速率都有所上升,并且棱条织构试样对载荷的增加更为敏感,平均摩擦系数及平均磨损速率上升幅度更为明显。

载荷分别为 0.4 MPa 和 0.8 MPa 下试样磨损后的照片如图4所示。



a—棱条织构 (载荷为 0.4 MPa); b—菱形织构 (载荷为 0.4 MPa); c—棱条织构 (载荷为 0.8 MPa); d—菱形织构 (载荷为 0.8 MPa)

图4 载荷分别为 0.4 MPa 和 0.8 MPa 下试样磨损后的照片

由图4a可以看出,在低载荷 0.4 MPa 作用下表面的棱条织构没有被破坏,水流可以在其光滑沟槽中平稳流过,并且环槽结构也可以促进流体动压效应,类似于鲨鱼皮肋条的减阻机理,并且其减小了摩擦副之间的接触面积,降低了粘着力,所以在低载作用下其平均摩擦系数及平均磨损速率低于无纹理试样(见图3);在高载荷 0.8 MPa 作用下,棱条织构所产生的过大应力使织构出现塑性变形,导致织构出现尖峰端,尖峰端在与锡青铜盘的对磨中产生疲劳磨损,摩擦过程中产生的磨粒没有及时释放进而又产生磨粒磨损,如图4c所示,大量磨粒所产生的微观切削增加了对偶件之间的摩擦阻力,同时也加剧了磨损量的增加。而相对来说,当载荷由 0.4 MPa 增加到 0.8 MPa 时,菱形织构试样的平均磨损速率增加幅度不大(见图3b)。这是由于在低载荷 0.4 MPa 和 150 r/min 工况下,菱形织构可以产生较为理想的动压效应,并且可以存储液体进而产生二次润滑。从图4b可以看出,其摩擦表面良好;当载荷增至 0.8 MPa 时,摩擦副之间的接触面被压紧,在摩擦过程中会产生磨粒,但从图4d可以看出,磨粒几乎被储存在菱形织构内,避免了摩擦副之间的磨粒磨损的产生,这在很大程度上降低了试样的摩擦系数及平均磨损速率(见图3),改善了材料的摩擦性能。

2.3 磨损表面粗糙度分析

为了进一步研究表面织构对材料摩擦性能的影响,对在载荷为 0.4 MPa、转速为 150 r/min 工况下实验后的三组试样的表面进行表面粗糙度测量,结果显示:无织构试样的表面粗糙度最高,为 0.095 μm ,表面产生了较多的犁沟;菱形织构试样的表面粗糙度为 0.057 μm ,棱条织构试样的表面粗糙度最低,为 0.032 μm 。两种织构对 PE-UHMW 表面起到了不同程度的改善作用。

这是由于无织构试样与锡青铜盘之间发生了严重的磨粒磨损和粘着磨损。磨粒磨损主要是因为无织构试样在与锡青铜盘摩擦时产生的磨粒无法及时排除,留在表面的磨粒由于磨粒的犁沟作用使表面被犁皱和切削,产生槽状或沟状磨痕导致表面粗糙度增大。由于金属屑粒在摩擦中脱落擦伤试样表面产生粘着磨损,也是导致表面粗糙度增大的重要原因。对于菱形和棱条织构试样,与锡青铜盘摩擦时产生磨粒后会把磨粒储存在织构中,从而减小磨粒对试样表面的磨损,所以两种织构试样表面的磨痕较浅,这在很大程度上避免了接触面间摩擦状态的恶化,这也正是织构试样能够降低摩擦系数的主要原因^[13-15]。此外,棱条织构试样的表面粗糙度略低于菱形织构试样。这是因为菱形织构试样与锡青铜盘有较大的接触面积,使得接触面之间的粘着加剧,部分接触区域产生粘着擦伤,形成粘着磨损,剥落的磨粒加剧了磨粒磨损;而棱条织构试样的表面积占有率相对较小,能够降低粘着现象,同时棱条织构由于容纳磨粒的效果较好,因此其表面粗糙度较小。

3 结论

(1) 在高载荷 (0.8 MPa)、低转速 (50 r/min) 时,棱条织构试样短时间内能够有效地降低摩擦系数,但是由于产生磨粒数量增多效果变差,菱形织构试样不能改善材料的摩擦系数。当转速上升至 150,500 r/min 时,菱形织构试样能够有效降低摩擦系数;在转速 150 r/min 下棱条织构试样在短时间内可以降低摩擦系数,但是随着时间的增加,效果逐渐变差,最后反而恶化了 PE-UHMW 试样的摩擦系数,而在 500 r/min 转速下棱条织构试样的摩擦系数在短时间内一直高于无纹理试样,随着时间的增加,棱条织构试样的摩擦系数出现下降趋势,在无纹理试样的摩擦系数上下波动。

(2) 在转速为 150 r/min、载荷为 0.4 MPa 时,

两种织构试样能够有效地降低摩擦系数;当载荷增至 0.8 MPa 时,三种试样的摩擦系数及磨损率都有所增大,并且棱条织构试样的摩擦系数及磨损率高于无织构试样,而菱形织构试样的摩擦性能依然优于无织构试样。

(3) 三种试样的磨损机制各不相同。无纹理试样主要为磨粒磨损和粘着磨损;棱条织构磨损机制主要为疲劳磨损和磨粒磨损;菱形织构试样因易产生粘着现象,磨损机制以粘着磨损为主。

参考文献

- [1] 郭昱辰,韩超,兰琼.超高分子量聚乙烯温等静压成型工艺及性能[J].功能高分子学报,2017(1):67-70.
Guo Yuchen, Han Chao, Lan Qiong. Warm isostatic pressing forming process and performance of ultrahigh molecular weight polyethylene[J]. Journal of Functional Polymers, 2017(1):67-70.
- [2] 郭智威,袁成清,刘爱学,等.基于仿生的水润滑轴承材料自润滑性能研究[J].润滑与密封,2016(11):124-128.
Guo Zhiwei, Yuan Chengqing, Liu Aixue, et al. Study on self-lubricating performance of water-lubricated stern tube bearing materials based on bionics[J]. Lubrication Engineering, 2016(11):124-128.
- [3] Schneider. Rubber bearings design and research[C]// The Naval Ship Maintenance and Modernization Symposium. Philadelphia, USA:[s. n.], 1998:20-27.
- [4] Golchin A, Wikner A, Emami N. An investigation into tribological behavior of multi-walled carbon nanotube / graphene oxide reinforced UHMWPE in water lubricated contacts[J]. Tribology International, 2016, 95:156-161.
- [5] 周健松,阎逢元,单小东.超高分子量聚乙烯摩擦学性能研究进展[J].材料科学与工程学报,2005(1):142-145.
Zhou Jiansong, Yan Fengyuan, Shan Xiaodong. Advance in the research of tribological properties of ultra high molecular weight polyethylene[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2005(1):142-145.
- [6] 王莉,严诚平,王权岱,等.金属微结构双疏表面的摩擦特性研究[J].华中科技大学学报:自然科学版,2012(S2):21-25, 43.
Wang Li, Yan Chengping, Wang Quandai, et al. Study on the tribological properties of the amphiphobic textured metal surface[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2012(S2):21-25, 43.
- [7] 王敬,周杰,张建生,等.乏油润滑下 Cr12 表面不规则形貌的减摩研究[J].华中科技大学学报:自然科学版,2014(5):25-29.
Wang Jing, Zhou Jie, Zhang Jiansheng, et al. Study on anti-friction capability of irregular surface topography in starved-oil lubrication of Cr12[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2014(5):25-29.
- [8] 肖稳,周学杰,马启国,等.表面微结构在防污涂料中的研究进展[J].材料保护,2016(10):83-89.

- Xiao Wen, Zhou Xuejie, Ma Qiguo, et al. Research progress of surface microstructure in antifouling coatings[J]. Materials Protection, 2016(10):83-89.
- [9] 马付良,曾志翔,高义民,等.仿生表面减阻的研究现状与进展[J]. 中国表面工程,2016(1):7-15.
- Ma Fuliang, Zeng Zhixiang, Gao Yimin, et al. Research status and progress of bionic surface drag reduction[J]. China Surface Engineering, 2016(1):7-15.
- [10] 李大伟,戴宁,姜晓通,等.仿生鲨鱼皮盾鳞的参数化三维建模技术[J]. 机械工程学报,2016(23):182-188.
- Li Dawei, Dai Ning, Jiang Xiaotong, et al. 3D parametric modeling technique of bionic sharkskin denticle[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016(23):182-188.
- [11] 董从林.水润滑橡胶轴承材料的摩擦磨损机理及磨损寿命预测研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2015.
- Dong Conglin. Study on friction and wear mechanism and wear life prediction of water lubricated rubber stern bearing material[D]. Wuhan:Wuhan University of Technology, 2015.
- [12] 谢静,白少先.倾斜椭圆微孔端面上游泵送气体密封流体动压特性[J]. 摩擦学学报,2017(2):233-239.
- Xie Jing, Bai Shaoxian. Hydrodynamic characteristics of gas upstream pumping face seals texturing with inclined-ellipse-dimples[J]. Tribology, 2017(2):233-239.
- [13] 程香平,康林萍,张友亮,等.润滑条件下菱形孔织构端面摩擦学特性研究[J]. 摩擦学学报,2015(6):658-664.
- Cheng Xiangping, Kang Linping, Zhang Youliang, et al. Tribological characteristics of end faces with diamond macro-pores textured under lubrication[J]. Tribology, 2015(6):658-664.
- [14] 董帮源,刘小君,王静,等.表面织构对重载线接触条件下40Cr钢摩擦性能的影响[J]. 摩擦学学报,2016(2):145-152.
- Dong Bangyuan, Liu Xiaojun, Wang Jing, et al. Effect of textured surface on the frictional property of 40Cr steel under high load and line contact[J]. Tribology, 2016(2):145-152.
- [15] Ibatan T, Uddin M S, Chowdhury M A K. Recent development on surface texturing in enhancing tribological performance of bearing slides[J]. Surface & Coatings Technology, 2015, 272:102-120.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过20个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以200~300字为宜,英文摘要可略详。关键词要求3~8个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,纵横坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将*.opg, *.dwg, *.eps等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少10篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过3人时可全部著录,超过3人时,只著录前3位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“工程塑料网”(http://www.epa1973.com),进入杂志社之页,点击“网上投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过3个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。