

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.10.007

二硫化钨改性摩擦摆支座 PTFE 材料的力学性能

洪迪甫^{1,2}, 赵桂峰^{2,3}, 马玉宏^{1,2}, 朱震阳^{2,3}

(1. 广州大学工程抗震研究中心, 广州 510405; 2. 工程抗震减震与结构安全教育部重点实验室, 广州 510405;

3. 广州大学土木工程学院, 广州 510006)

摘要: 针对摩擦摆支座聚四氟乙烯 (PTFE) 材料耐磨性差的问题, 利用二硫化钨 (WS_2) 填充改性 PTFE, 开展了拉伸性能、硬度等相关试验来分析复合材料的各项基本力学性能。结果显示, 随着微米级和纳米级 WS_2 含量的增加, 拉伸强度和断裂伸长率会减小, 硬度和密度会增大, 耐压缩变形能力会提高; WS_2 含量的多少对复合材料密度影响较大, 而粒径大小对其影响不大; 采用微米级与纳米级含量为 2%, 4%, 6% 的 WS_2 填充改性 PTFE 板在一定程度上减小了由于上部荷载作用而产生的压缩变形, 提高了 PTFE 材料的耐磨性能, 采用微米级含量为 2% 和纳米级含量为 6% 的 WS_2 来改善摩擦滑移材料, 耐压缩变形能力会更好, 从而可以更好地改善摩擦滑移材料磨耗性能。研究结果可为改善摩擦摆支座的性能提供依据。

关键词: 二硫化钨; 聚四氟乙烯; 基本力学性能; 摩擦摆支座

中图分类号: TU352.1+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)10-0036-06

Mechanical Properties of PTFE Material Modified with WS_2 in Friction Pendulum Bearing

Hong Difu^{1,2}, Zhao Guifeng^{2,3}, Ma Yuhong^{1,2}, Zhu Zhenyang^{2,3}

(1. Earthquake Engineering Research & Test Center, Guangzhou University, Guangzhou 510405, China;

2. Key Laboratory of Earthquake Resistance, Earthquake Mitigation and Structural Safety, Ministry of Education, Guangzhou 510405, China;

3. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract : At present, the wear-resistance of polytetrafluoroethylene (PTFE) in friction pendulum bearing is poor, so PTFE was modified by filling with tungsten disulfide (WS_2). The basic mechanical properties of the composites were analyzed through the related tests such as tensile properties and hardness. The results show that with the increase of the content of micron and nano- WS_2 , the tensile strength and elongation at break decrease, the hardness and density increase, and the ability to resist to compressive deformation increases. The content of WS_2 has a great influence on the density of the composites, but the particle size has little effect on it. The modified PTFE plate with 2%, 4% and 6% contents of micron and nano- WS_2 can reduce the compressive deformation caused by the upper load, which can improve the wear-resistance property of the PTFE material. The modified PTFE plate with 2% content of micron- WS_2 and 6% content of nano- WS_2 can improve the ability of composite to resist to compressive deformation better, and the wear-resistance property of PTFE slip material can be improved better. The research results can provide a basis for improving the performance of friction pendulum bearings.

Keywords : tungsten disulfide ; polytetrafluoroethylene ; basic mechanical property ; friction pendulum bearing

1985 年, 美国 V. Zayas 等^[1]利用钟摆的原理研发了摩擦摆隔震装置, 称之为摩擦摆支座, 该支座巧妙地利用上部结构的自重使其上下部分能在地震

发生时在较小的圆弧接触面上滑动。由于其出色的耗能隔震能力、自复位能力以及对地震频率的低敏感性, 近年来被广泛应用于桥梁隔震中。在摩擦摆

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51678173, 51578170, 51878196), 长江学者和创新团队发展计划项目 (IRT13057), 广东省自然科学基金项目 (2017A030313298), 广州市科技计划项目 (201707010295)

通讯作者: 赵桂峰, 副教授, 博士, 主要从事结构减震、振动控制等方面的研究 E-mail: 1766674920@qq.com

收稿日期: 2019-07-16

引用格式: 洪迪甫, 赵桂峰, 马玉宏, 等. 二硫化钨改性摩擦摆支座 PTFE 材料的力学性能 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(10):36-41.

Hong Difu, Zhao Guifeng, Ma Yuhong, et al. Mechanical properties of PTFE material modified with WS_2 in friction pendulum bearing[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(10):36-41.

支座中常采用聚四氟乙烯 (PTFE) 作为其摩擦滑移层的材料,其性能对支座性能的发挥起到决定性的作用。但 PTFE 耐磨性差,当支座中滑移材料滑移超过一定的距离后,会由于其过度磨损而影响摩擦摆支座隔震性能的正常发挥。因此,开展对 PTFE 的改性研究是非常有必要的。

在对 PTFE 材料改性方面,从 20 世纪 60 年代开始,人们已经提出了表面改性、共混改性、填充改性等方法^[2]。其中,填充改性是较好的 PTFE 改性方法,通常可采用石墨、金属及其氧化物、陶瓷颗粒、纤维类填料等改性材料。通过改性,PTFE 材料的摩擦系数和磨损率可大幅降低,耐蠕变性能有所提高,耐压性提高 5~10 倍^[3]。此外,二硫化钼 (MoS_2)、二硫化钨 (WS_2) 等过渡金属硫化物由于化学性能稳定、摩擦系数小、承载力高、耐磨损性能良好,也常用于对 PTFE 材料的改性^[4-6]。 WS_2 是科学界公认的摩擦滑移效果最好的材料之一, WS_2 与 MoS_2 都属于同族过渡金属硫化物,但 WS_2 氧化率更低,高温热稳定性更好,不溶于水和有机溶剂,不与浓硝酸和氢氟酸的混合液发生反应^[7]。当 WS_2 作为滑移材料时,由于其剪切强度较小,在摩擦过程中,存在于基材表面的 WS_2 会与对偶面的金属发生物理或化学变化,形成转移膜,使得摩擦大都发生在润滑膜与转移膜之间,降低 WS_2 磨损的可能^[8]。

目前,国内外已对 PTFE 材料的改性做了大量研究。Y. C. Chen 等^[9]对采用 SiO_2 填充的 PTFE 进行了试验,发现对于采用不同粒径 SiO_2 填充的复合材料,拉伸强度均随着 SiO_2 含量的增加表现出相似的下降趋势。W. G. Sawyer 等^[10]对采用 Al_2O_3 填充的 PTFE 进行试验,发现其耐磨性能随着 Al_2O_3 含量的增加而提高,但在试验过程中没有发现最佳的填料比例。M. Conte 等^[11]采用碳、玻璃纤维、青铜、石墨等材料分别对 PTFE 进行填充改性,试验后发现相比纯 PTFE,复合材料的磨损率均有所降低。N. Ala 等^[12]采用荧光金玻璃纤维对 PTFE 进行改性,发现在不大幅增大摩擦系数的前提下其磨损率大大降低,耐磨性显著提高。史丽萍等^[13-15]将纳米 Al_2O_3 添加到 PTFE 中,发现随着 Al_2O_3 含量的增加,改性材料的拉伸强度和断裂伸长率均降低,磨损率急速减小而硬度在增加。陈兴明等^[16]利用纳米 SiO_2 对 PTFE 进行了填充,发现随着纳米 SiO_2 含量的改变,拉伸强度和断裂伸长率会呈现出不同的变化趋势,而硬度有所提高。黄岳元等^[17]将纳米

TiO_2 和 SiO_2 填充到 PTFE 中,发现其可以有效降低改性 PTFE 的磨损率。王战辉等^[18]将碳纤维添加到 PTFE 中,发现其可以改善 PTFE 力学性能。王建吉等^[19]采用聚酰亚胺和石墨改性 PTFE,发现聚酰亚胺可以大幅度提高改性材料的耐磨性能,且和石墨共同填充 PTFE 时,改性材料的摩擦学性能最佳。黄承亚等^[20]对石墨/ MoS_2 填充改性聚苯酯/PTFE 复合材料进行了力学性能试验,发现石墨和 MoS_2 能够提高复合材料的拉伸强度、弯曲强度、硬度以及耐磨性能。

上述研究主要集中在氧化物改性、石墨改性、纤维类改性等,而采用 WS_2 来填充改善 PTFE 的研究还比较少,这不利于采用过渡金属硫化物填充 PTFE 在实际工程中的应用。因此,笔者就摩擦摆支座 PTFE 耐磨性差的问题,利用 WS_2 填充改性 PTFE,开展了基本力学性能试验研究,可为改进摩擦摆支座的性能提供依据。

1 实验部分

1.1 原材料

PTFE: 平均粒径为 50 μm , 深圳市工程塑料有限公司;

WS_2 : 平均粒径为 0.58 μm (微米级)、100 nm (纳米级), 长沙市华京粉体材料科技有限公司。

1.2 仪器及设备

万能材料拉伸试验机: HDW-5 型, 济南恒旭数控机械有限公司;

塑料球压痕硬度计: XQY-961 型, 长春市新科试验仪器设备有限公司;

电子分析天平: FA124 型, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;

压缩变形试验机: YSJ-1 型, 深圳市工程塑料有限公司。

1.3 试样制备

(1) WS_2 含量的确定。

Ren Guina 等^[21]用纳米级和微米级 WS_2 填充 PTFE/Nomex 纤维, 发现当纳米级和微米级 WS_2 质量分数分别为 2% 和 4% 时, 磨损率最低, 而当 WS_2 含量达到 6% 时, 摩擦系数最低。Li Hulin 等^[22]采用亚微米的 WS_2 添加到 PTFE/Kevlar 纤维复合材料中, 发现复合材料的磨损率和摩擦系数均能降低, 当其含量为 7.5% 时, 磨损率达到最低。林启权等^[6]研究发现 WS_2 含量为 25% 时对摩擦系数

和磨损率的改善效果最好。此外,当 PTFE 中 WS_2 的含量超过 15% 时,复合材料的部分力学性能将不能够达标。总结前人的成果,发现在对 PTFE 进行改性时,所得 WS_2 的最优含量均不一致,这可能是试验时所用的原材料、填充改性的方法以及试验加载条件等不同造成的。

考虑到桥梁摩擦摆支座中 PTFE 板受到压应力的不同,试验室加载设备能力的不同,设计了微米级和纳米级 WS_2 含量为 2%,4%,6%,8%。

(2) 试样制备。

采用模压烧结法制备 WS_2 改性 PTFE。首先对 PTFE 进行过筛处理使其均匀分散来尽量避免 PTFE 在使用前出现结团的现象,然后按一定的比例将 WS_2 和 PTFE 进行混合,随后将混合料加入磨具中进行冷压成型,最后进行烧结并制备试样。

1.4 性能测试

拉伸性能按 GB/T 1040.2-2006 采用万能材料拉伸试验机进行测试,哑铃状试样(1BA 型);

硬度按 GB/T 3398.1-2008 采用塑料球压痕硬度计进行测试,试样直径 50 mm,厚度 4 mm;

密度按 GB/T 1033.1-2008 对硬度试验后切去的小块体采用电子分析天平进行测试;

耐压缩变形能力按 JT/T 901-2014 采用压缩变形试验机进行测试,试样直径 155 mm,厚度 7 mm。

2 结果与讨论

2.1 拉伸性能

拉伸强度和断裂伸长率会影响复合材料的磨损性能,因此,对复合材料进行拉伸性能测试十分必要。分别对不同粒径和含量 WS_2 改性的 PTFE 板进行测试,结果见图 1。

从图 1 可以看出,拉伸强度和断裂伸长率随着 WS_2 含量的增加而降低,当 WS_2 含量为 2% 和 4% 时,采用纳米级 WS_2 改性材料拉伸强度下降幅度较大;而对于采用相同含量的纳米级和微米级 WS_2 改性材料的断裂伸长率变化程度相近。当微米级和纳米级 WS_2 含量为 8% 时,复合材料拉伸强度和断裂伸长率已不能满足标准中规定的下限值。具体试验破坏现象见图 2,可见,试件破坏截面上出现了明显的分层现象,在试件纺锤体的端口处发生了破坏,可能的原因是 WS_2 填充到 PTFE 基体中,使基体大分子链互相缠绕,阻碍了大分子链的运动^[15],而且由于二者之间不存在强化学作用以及其它的相互作用

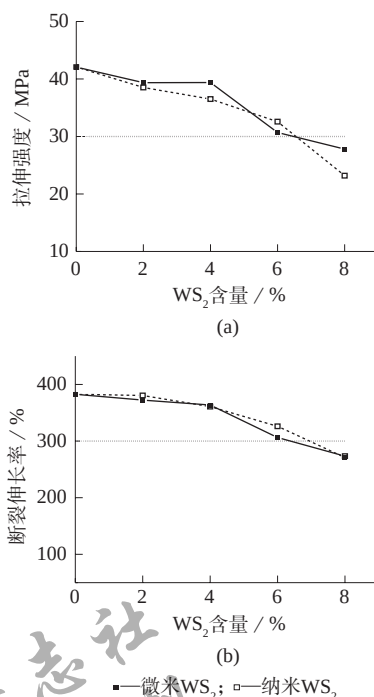


图 1 拉伸性能随 WS_2 变化的规律
a—拉伸强度; b—断裂伸长率

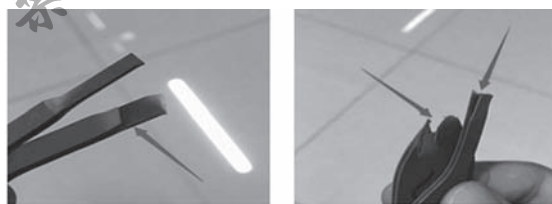


图 2 WS_2 含量为 8% 时改性 PTFE 试件破坏现象

使界面间的填料和基体结合在一起,在拉伸作用下,填料的两极处易出现空穴等缺陷,进而产生了应力集中,导致拉伸性能下降^[23]。此外,随着 WS_2 含量的增加,填料逐渐充塞整个螺旋分子链的空隙,使得改性 PTFE 材料由韧性材料转向了脆性材料,进而发生了脆性破坏^[16-17]。

由上述测试结果可知,含量为 2%,4%,6% 的微米级和纳米级 WS_2 改性 PTFE 的拉伸性能均满足国家标准要求。

2.2 硬度

硬度是工程技术材料测量比较广泛的性能之一,表征材料抵抗表面局部弹性变形的能力^[24],其指标在指导生产、材料检验和材质的评选等方面有着很重要的意义。当 PTFE 材料应用于摩擦板支座的滑移材料时,由于其硬度较低,在滑移材料与不锈钢板发生摩擦时,在上部结构荷载的作用下,不锈钢板将会压入滑移材料,出现犁沟的现象,使得二

者之间的摩擦过大而导致磨损率增大^[8]。而通过对PTFE进行改性,提高材料表面的硬度可以避免这种现象发生,并在一定程度上降低材料的磨损率,提高其耐磨性能。不同粒径、含量WS₂改性PTFE板的球压痕硬度测试结果见图3。

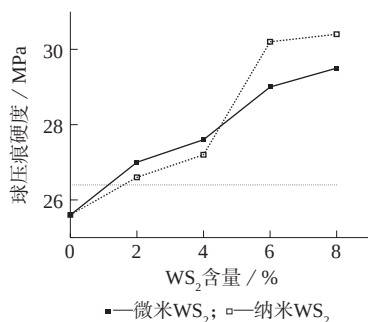


图3 球压痕硬度随WS₂的变化规律

根据JT/T 901-2014的要求,纯PTFE板和改性PTFE板的球压痕硬度值应分别在23~33 MPa和26.4~39.6 MPa才满足要求。从图3可以看出,纯PTFE和采用2%~8% WS₂改性的材料基本满足要求。无论添加的是纳米级还是微米级的WS₂,复合材料的硬度均能随着WS₂含量的增加而递增。当采用含量2%,4%的WS₂来改性PTFE,微米级改性材料的硬度较高;当采用含量6%,8%的WS₂来改性PTFE,纳米级改性材料的硬度较高。当WS₂含量达到8%时,硬度提高近20%。其可能的原因是WS₂质硬,在复合材料中有传递载荷的作用,随着WS₂与PTFE充分地吸附、键合,分散于PTFE基体之中,起到了刚硬支撑的作用,从而提高了复合材料的硬度。此外,由于纳米级WS₂的粒径更小,比表面积更大,更能与PTFE基体材料充分吸附并能在其中分散均匀,且过渡金属硫化物纳米粒子在基体材料结晶的过程中有一定的催化作用,使材料的结晶度有所提高,增加了复合材料的硬度^[24]。

2.3 密度

密度作为表征物质结构状态最基本的参数之一,是评价材料致密性好坏的标志,材料的致密性将直接影响其承受外力有效作用面积^[25],致密度好能使材料强度发挥更充分^[26]。因此对WS₂改性PTFE板进行密度测试也非常重要。根据材料拉伸性能和硬度的测试结果,发现采用8%的WS₂来改性PTFE时部分力学性能已经不能够满足相关标准的要求,故只对含量为2%,4%,6%的WS₂改性PTFE进行密度测试,结果见图4。

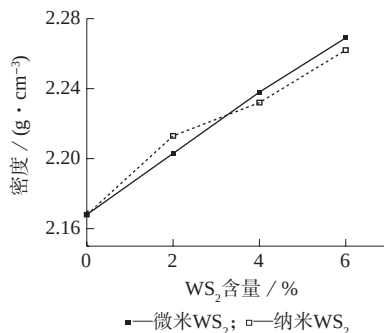


图4 密度随WS₂含量的变化规律

根据相关标准,纯PTFE板的密度值应在2.14~2.2 g/cm³才满足要求。当加入WS₂时,复合材料的密度与WS₂本身的密度有关。从图4可见,纳米级和微米级改性PTFE板的密度均随着填料含量的增加而增大,但增大的幅度基本在5%以内,其原因可能是WS₂的密度较PTFE大。当加入2%的WS₂时,纳米级改性材料的密度较高;当加入4%,6%的WS₂时,微米级改性材料的密度较高。但从整体上看,当加入相同含量的不同粒径WS₂时,改性材料的密度相差不大,说明相同含量微米级和纳米级WS₂对复合材料密度影响相近。

2.4 耐压缩变形能力

PTFE作为一种线性高分子材料,在一定的载荷作用下极易产生分子滑移。如果在更大的压缩载荷下,结晶区的分子链也开始产生滑移,直至产生裂纹而发生破坏^[27]。而在隔震支座中摩擦滑移材料需要长期承受上部结构传来的竖向载荷作用,若产生过大变形,将会增加滑移材料的磨损,影响到摩擦摆支座的隔震效果,因而需要测试复合材料的耐压缩变形能力。测试中对纯PTFE板和改性PTFE板分别施加60 MPa和90 MPa的竖向压应力,测试48 h后滑移材料外露高度的变化情况,根据JT/T 901-2014用测试过程中第3~48 h每小时摩擦滑移材料外露高度变化的平均值来表征材料的耐压缩变形能力,结果见图5。

从图5可以看出,改性PTFE板的耐压缩变形能力较纯PTFE板要好,说明采用WS₂来改性PTFE板在一定程度上减小了由于上部荷载作用而产生的压缩变形。采用微米级含量为2%和纳米级含量为6%的WS₂来改善摩擦滑移材料,耐压缩变形能力会更好,从而可以更好地改善摩擦滑移材料磨损性能。可能的原因是PTFE中填充了WS₂,阻碍了分子链的大面积滑移,并且适量的WS₂颗粒在

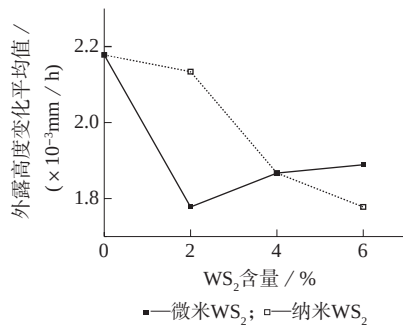


图5 耐压缩变形能力随 WS₂ 的变化规律

基体中充当刚硬的支撑点,减小了材料的变形^[28]。

3 结论

随着微米级和纳米级 WS₂ 含量的增加,拉伸强度和断裂伸长率呈下降趋势,而硬度和密度会增大,耐压缩变形能力有所提高。微米级和纳米级 WS₂ 含量为 8% 时,复合材料拉伸性能已经不能满足要求。微米级和纳米级 WS₂ 改性 PTFE 的各项性能相差不大。综合考虑拉伸性能、硬度、密度等测试结果,建议采用含量为 2%~6% 的微米级或纳米级 WS₂ 对 PTFE 板进行改性,可以满足各项基本力学性能要求,提高耐磨耗性能。

参考文献

- [1] Zayas V, Low S, Mahin S. The FPS earthquake resisting system[R]. Technical Report UCB/EERC-87/01, University of California at Berkeley, 1987.
- [2] 李海龙,朱磊宁,谢苏江. 聚四氟乙烯改性及其应用[J]. 液气气动与密封, 2012, 32(6):4-8.
Li Hailong, Zhu Leining, Xie Sujiang. Modified polytetrafluoroethylene and its application[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2012, 32(6):4-8.
- [3] 李翠. 填充改性聚四氟乙烯的摩擦磨损性能研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016.
Li Cui. Friction and wear performances of polytetrafluoroethylene promoted by fillers[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016.
- [4] 张招柱,薛群基,刘维民,等. 金属硫化物及石墨填充 PTFE 复合材料的摩擦磨损性能研究[J]. 复合材料学报, 1999, 16(4):58-63.
Zhang Zhaozhu, Xue Qunji, Liu Weimin, et al. Study on friction and wear properties of metal sulfides and graphite filled PTFE composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 1999, 16(4):58-63.
- [5] 郭培锐,邱明,李迎春,等. MoS₂ 对 PTFE 基粘结固体润滑涂层摩擦学和附着性能的影响[J]. 机械工程材料, 2015, 39(7):82-85.
Guo Peirui, Qiu Ming, Li Yingchun, et al. Effects of MoS₂ on tribology and adhesion properties of polytetrafluoroethylene base bonded solid lubrication coating[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2015, 39(7):82-85.
- [6] 林启权,毛波,董文正,等. 二硫化钼与二硫化钨填充改性聚四氟乙烯的摩擦学性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2016, 32(11):51-57.
Lin Qiquan, Mao Bo, Dong Wenzheng, et al. Tribological behaviour of polytetrafluoroethylene composites modified with molybdenum disulfide and tungsten disulfide[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2016, 32(11):51-57.
- [7] Tenne R, Margulis L, Genut M, et al. Polyhedral and cylindrical structures of tungsten disulphide[J]. Nature, 1992, 360:444-446.
- [8] 杜广煜,巴德纯,王晓光,等. 二硫化钨固体润滑薄膜润滑机理及研究现状[A]. 巴德纯. 真空冶金与表面工程——第八届真空冶金与表面工程学术会议论文集[C]. 北京: 电子工业出版社, 2007:254-259.
Du Guangyu, Ba Dechun, Wang Xiaoguang, et al. Tribological properties and current status of tungsten disulfide solid lubricant films[A]. Ba Dechun. Vacuum metallurgy and surface engineering——Proceedings of the 8th vacuum metallurgy and surface engineering conference[C]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007:254-259.
- [9] Chen Y C, Lin H C, Lee Y D. The effects of filler content and size on the properties of PTFE / SiO₂ composites[J]. Journal of Polymer Research, 2003, 10(4):247-258.
- [10] Sawyer W G, Freudenberg K D, Bhimaraj P, et al. A study on the friction and wear behavior of PTFE filled with alumina nanoparticles[J]. Wear, 2003, 254(5-6):573-580.
- [11] Conte M, Igartua A. Study of PTFE composites tribological behavior[J]. Wear, 2012, 296(1-2):568-574.
- [12] Ala N, Power E H, Azizinamini A. Experimental evaluation of high-performance sliding surfaces for bridge bearings[J]. Journal of Bridge Engineering, 2016, 21(2).doi:10.1061 / (ASCE) BE.1943-5592.0000708.
- [13] 史丽萍,张静,顾红艳,等. 纳米氧化物填充 PTFE 复合材料的摩擦学性能[J]. 润滑与密封, 2008, 33(12):68-71.
Shi Liping, Zhang Jing, Gu Hongyan, et al. Friction and wear properties of PTFE composites filled with nanometer oxide[J]. Lubrication Engineering, 2008, 33(12):68-71.
- [14] 何春霞,丁为民,顾红艳. 纳米 Al₂O₃ / PTFE 复合材料的制备及其力学性能[J]. 塑料工业, 2001(4):16-17.
He Chunxia, Ding Weiming, Gu Hongyan. Preparation and mechanical properties of nano-Al₂O₃ / PTFE composites[J]. China Plastics Industry, 2001(4):16-17.

- [15] 时连卫,王子君,孙小波,等. 纳米 Al_2O_3 改性 PTFE 复合保持架材料性能研究 [J]. 轴承, 2016(6):35–38.
Shi Lianwei, Wang Zijun, Sun Xiaobo, et al. Research on performance of PTFE composite cage material modified with nano- Al_2O_3 [J]. Bearing, 2016(6):35–38.
- [16] 陈兴明,刘科伟,杨琼芬. PTFE / 纳米 SiO_2 复合材料的制备及其力学性能 [J]. 化学研究与应用, 2007, 19(7):831–833.
Chen Xingming, Liu Kewei, Yang Qiongfeng. Study on preparation and mechanical properties of PTFE / nano- SiO_2 composites[J]. Chemical Research and Application, 2007, 19(7):831–833.
- [17] 黄岳元,任杰. 纳米氧化物 / 聚四氟乙烯复合材料的研究 [J]. 机械科学与技术, 2004(9):1 051–1 053.
Huang Yueyuan, Ren Jie. Study on nanometer oxide / PTFE composites[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2004(9):1 051–1 053.
- [18] 王战辉,马向荣,范晓勇,等. 碳纤维填充聚四氟乙烯复合材料力学性能研究 [J]. 当代化工, 2018, 47(11):14–17.
Wang Zhanhui, Ma Xiangrong, Fan Xiaoyong, et al. Study on the mechanical property of carbon fiber-filled polytetrafluoroethylene (PTFE) composites[J]. Contemporary Chemical Industry, 2018, 47(11):14–17.
- [19] 王建吉,刘涛. 聚酰亚胺 / 石墨改性聚四氟乙烯的摩擦学性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2018(8):61–66.
Wang Jianji, Liu Tao. Tribological properties of polyimide / graphite modified polytetrafluoroethylene[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2018(8):61–66.
- [20] 黄承亚,龚克成,蔡立芳,等. 无机填料增强聚苯酯 / 聚四氟乙烯复合材料的力学和摩擦磨损性能 [J]. 复合材料学报, 2006, 23(4):36–40.
Huang Chengya, Gong Kecheng, Cai Lifang, et al. Mechanics, friction and wear properties of inorganic filled Ekonol / PTFE composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2006, 23(4):36–40.
- [21] Ren G, Zhang Z, Zhu X, et al. WS_2 -filled hybrid PTFE / Nomex fabric composites with improved antiwear property[J]. Journal of Materials Science, 2015, 50(3):1 065–1 070.
- [22] Li H L, Yin Z W, Jiang D, et al. Tribological behavior of hybrid PTFE / Kevlar fabric composites with nano- Si_3N_4 and submicron size WS_2 fillers[J]. Tribology International, 2014, 80:172–178.
- [23] 张宏飞,高永操,王廷梅,等. 聚苯酯填充聚四氟乙烯机械性能和摩擦学性能研究 [J]. 润滑与密封, 2017, 42(1):97–101.
Zhang Hongfei, Gao Yongcao, Wang Tingmei, et al. Study on mechanical and tribological properties of POB filled PTFE composites[J]. Lubrication Engineering, 2017, 42(1):97–101.
- [24] 张艳诚. 纳米材料填充改性 PTFE 力学性能的研究 [J]. 机械工程师, 2006(1):101–102.
Zhang Yancheng. Study on mechanical properties of nanocrystalline material modified PTFE[J]. Mechanical Engineer, 2006(1):101–102.
- [25] 胡玉安,祝荣先,张亚慧,等. 密度对寿竹竹基纤维复合材料性能的影响 [J]. 木材工业, 2013, 27(2):5–7.
Hu Yu'an, Zhu Rongxian, Zhang Yahui. Effect of density on properties of crushed bamboo-mat composite[J]. China Wood Industry, 2013, 27(2):5–7.
- [26] Thomas M P, King J E. Improvement of the mechanical properties of 2124 Al / SiC_p MMC plate by optimisation of the solution treatment[J]. Composites Science and Technology, 1996, 56(10):1 141–1 149.
- [27] 张飞,寇开昌,颜录科,等. 聚四氟乙烯高温蠕变性能表征方法的研究 [J]. 中国塑料, 2008(4):83–85.
Zhang Fei, Kou Kaichang, Yan Luke, et al. Study on characterization of high-temperature creep behavior of polytetrafluoroethylene[J]. China Plastics, 2008(4):83–85.
- [28] 郑振超,寇开昌,张冬娜,等. 聚四氟乙烯 / 聚苯酯共混物的蠕变及结晶性能研究 [J]. 中国塑料, 2013, 27(7):52–56.
Zheng Zhenchao, Kou Kaichang, Zhang Dongna, et al. Study on creep behavior and crystallization of POB filled PEF blends[J]. China Plastics, 2013, 27(7):52–56.

卫星石化第二套霍尼韦尔 Oleflex 装置 成功投产

霍尼韦尔宣布,浙江卫星石化股份有限公司在其位于浙江省平湖市的新建石化产品联合装置上成功运行霍尼韦尔 UOP 技术来生产聚合级丙烯。该装置年产量高达 45 万 t。这是霍尼韦尔与浙江卫星石化合作建设的第二套 C3 Oleflex 装置。霍尼韦尔 UOP 曾于 2014 年向浙江卫星石化交付了第一套 Oleflex 装置。

Oleflex 技术有助于其满足中国不断增长的丙烯需求,丙烯是制造塑料的主要成分。自 2011 年以来, Oleflex 技术已广泛用于全球大多数脱氢项目,其中包括丙烷、异丁烷以及丙烷 / 异丁烷混合进料。除技术授权和基本工程设计外,霍尼韦尔还为工厂提供技术服务、设备、催化剂和吸附剂。

“浙江卫星石化的第一套 Oleflex 装置至今已成功运行五年之久。浙江卫星石化之所以决定购买第二套 Oleflex 装置,很大程度上是基于第一套装置的成功运营经验。”霍尼韦尔 UOP 中国区副总裁兼总经理刘茂树表示,“第二套装置快速投产并达到设计能力,从而让卫星石化的丙烯设计产能达到 90 万 t。”

霍尼韦尔 UOP 的 C3 Oleflex 技术通过催化脱氢将丙烷转化为丙烯,丙烯是生产聚丙烯的主要成分。相比于同类技术,该项技术有助于降低现金生产成本,提高投资回报。

其基于铂 / 氧化铝的催化剂体系,具有低能耗、低排放、完全可回收的特点,能最大限度降低环境影响。此外, Oleflex 技术独立反应和再生系统能够实现稳态操作,提高操作的灵活性、运转率和可靠性。
(中塑在线)