

聚四氟乙烯复合材料摩擦学性能研究^{*}

牛永平^{1,2} 蔡利华^{1,2} 张永振²

(1. 河南科技大学化工与制药学院, 洛阳 471003; 2. 河南科技大学材料摩擦学重点实验室, 洛阳 471003)

摘要 综述了 PTFE 复合材料摩擦学性能的国内外研究进展, 系统阐述了不同填料对 PTFE 复合材料摩擦学性能的影响, 指出多种填料混合填充可提高 PTFE 复合材料的承载能力和耐磨损性能, 降低其摩擦系数。

关键词 PTFE 复合材料 填充改性 摩擦 磨损

聚四氟乙烯 (PTFE) 有优良的自润滑性能, 并且具有良好的化学稳定性和耐高温性, 是一种应用十分广泛的特种工程塑料。然而, PTFE 的磨损率高、承载能力差等缺点限制了其应用范围^[1]。为了扩大其应用领域, 需要对 PTFE 进行改性, 在保持优良自润滑性能的同时, 提高其综合性能。

PTFE 改性通常有填充改性、共混改性和表面改性等方法, 在摩擦学领域改性 PTFE 采用的主要方法是填充改性。填充改性是指在 PTFE 中加入填料, 利用填料来影响 PTFE 分子链的运动, 以防止 PTFE 的大面积片状磨损; 同时, 利用复合效应来增加 PTFE 的强度和刚度, 提高其综合性能。用于改性 PTFE 的填料可分为金属填料、无机非金属填料和有机填料等。笔者研究了不同填料对 PTFE 复合材料摩擦学性能的影响, 并对各种填料的作用进行了归纳总结。

1 单一填料填充改性

填充改性 PTFE 是在 PTFE 中加入填料以改善其性能, 通过添加填料来改性 PTFE 是一种简单有效的方法, 在 PTFE 中加入不同的填料, 可使其力学性能和摩擦学性能得到明显改善。

1.1 无机非金属填料

常用的无机非金属填料主要有石墨、金属氧化物及硫化物、纤维和纳米材料等。

(1) 石墨

石墨具有层状结构, 是一种重要的固体润滑剂, 它可以降低 PTFE 的摩擦系数和磨损率, 同时能够有效改善 PTFE 的压缩蠕变性、尺寸稳定性和导热性。

李文忠等^[2]发现随着石墨含量的提高, PTFE 复合材料的摩擦系数降低。这是因为石墨承受了载荷, 阻止了 PTFE 的大面积剥落, 因而提高了其耐磨损性能。但当石墨质量分数超过 20% 时, PTFE 复合材料的强度降低, 容易发生塑性变形, 摩擦系数升高。

石墨作为理想的润滑材料, 与 PTFE 有着较好的粘附力。石墨填充 PTFE 复合材料与对偶件摩擦时会在对偶件表面形成转移膜, 提高了 PTFE 复合材料的耐磨损性; 但是随着石墨含量的逐渐增加, 转移膜的厚度增加, 石墨填充 PTFE 复合材料的磨损量逐渐降低^[3]。因此, 一定含量范围内的石墨能够改善 PTFE 复合材料的耐磨损性和导热性, 使复合材料的摩擦系数和磨损量均随着石墨含量的增加而减小。

(2) 金属氧化物及硫化物

一些金属氧化物如 PbO、ZnO、Al₂O₃、TiO₂ 和 Cu₂O 等可以提高 PTFE 复合材料的承载能力, 减小材料的形变, 还可以改善转移膜在对偶件表面的附着强度, 减小摩擦系数, 大幅度降低 PTFE 复合材料的磨损率^[4-6]。

PbO、Pb₃O₄ 和 Cu₂O 均可大大降低 PTFE 复合材料的磨损率及其摩擦系数, 提高其耐磨损性。PbO、Pb₃O₄ 既增强了 PTFE 复合材料的承载能力, 又促进了转移膜的形成, 改变了磨损磨屑的形成机制, 阻止了 PTFE 带状结构的大面积破坏, 从而降低了 PTFE 复合材料的磨损率; PbO 对 PTFE 复合材料摩擦系数的影响不大, 但 Pb₃O₄ 却可降低 PTFE 复合材料的摩擦系数。Cu₂O 填充改性 PTFE 复合材料的耐磨机制与 PbO、Pb₃O₄ 相似, 它可使复合材料的摩擦系数略有降低; Cu₂O 填充 PTFE 复合材料的摩擦学性能受载荷的影响很大, 当载荷超过 300 N 时, 摩擦系数和磨损率急剧增大^[7-8]。

MoS₂、CuS、PbS 均会使 PTFE 复合材料的摩擦系数增大, 磨损率降低。MoS₂ 为六方层状晶体结构, 具有优良的自润滑性能, 它可以提高 PTFE 复合材料的硬度和抗蠕变性能, 改善 PTFE 复合材料的耐磨损性。MoS₂ 与 PTFE 的混合物在摩擦界面形成的转移膜能隔离 PTFE 复合材料与对偶件的直接接触, 从而降低了 PTFE 复合材料的磨损率, 提高了其耐磨损性, 但却未能有效地降低摩擦系数。

(3) 纤维类填料

填料的形态、性质和含量能够影响复合材料的力学性能, 进而影响其摩擦学性能, 当填料含量相同时, 纤维类填料对材料力学性能和摩擦学性能的改善最为显著。大多数纤维具有较高的强度、刚度及良好的导热性, 纤维类填料可以改善 PTFE 的摩擦学性能, 并提高其力学性能和使用寿命。常用的纤维包括玻璃纤维 (GF)、碳纤维 (CF)、钛酸钾晶须 (PTW) 和芳纶纤维等, 纤维的种类不同, 对 PTFE 摩擦学性能的影响程度也不同。

GF 具有高的比模量和比强度, 作为 PTFE 的填料可起到传递载荷和承受载荷的作用, 使复合材料的承载能力和耐磨

^{*} 国家 973 项目 (2007CB607603)、河南省教育厅项目 (2008A430006)、河南科技大学人才科研基金项目 (09001146)

收稿日期: 2008-12-17

损性能增强,从而减小材料的磨损量。余达强等^[9]研究了短玻璃纤维(SGF)填充PTFE复合材料的磨损性能。结果表明,随着SGF含量的增加,PTFE复合材料的磨损量逐渐减小;当SGF质量分数超过30%时,复合材料的磨损量增大;PTFE复合材料的摩擦系数随着SGF含量的变化很小。SGF弥散交错分布在PTFE中,具有传递和分散载荷的作用,SGF与其周围的PTFE基体相互作用构成一个整体,使复合材料难于剥落脱离,提高了复合材料的耐磨损性能。

H. Unal等^[10-11]对比研究了质量分数25%的青铜粉、35%的石墨和质量分数17%的GF改性PTFE复合材料的摩擦磨损性能,发现PTFE复合材料的摩擦系数均随着载荷的增加而减小,而磨损率随着载荷的增加而增大。其中,GF改性PTFE复合材料的磨损率和摩擦系数降幅最大,具有良好的摩擦学性能。单昆仑等^[12]研究发现,SGF有效地提高了PTFE复合材料的承载能力,SGF质量分数为20%、25%时,复合材料的耐磨损性能比纯PTFE提高了近500倍。

CF填充改性PTFE的耐磨损性能比填充GF时更为显著,CF填充PTFE复合材料在空气和水中的耐磨损性能均显著提高,在高温和常温下均具有良好的抗蠕变性能,但该材料应用的最大限制是成本较高。孙春峰等^[13]用CF填充改性PTFE,当CF质量分数为10%~30%时,复合材料的磨痕宽度随CF含量的增加而减小;CF降低了材料的磨损率,但却增大了摩擦系数。由于CF和PTFE的相容性不好,常采用偶联剂处理以提高两者的结合力。

Feng Xin等^[14]在研究PTW填充改性PTFE复合材料的摩擦磨损性能时发现,PTW具有异相成核能力,结晶度的增大改善了复合材料的耐磨损性能,阻止了PTFE复合材料的带状磨损。当PTW质量分数为1%~20%时,复合材料的磨损率随PTW含量的增加而急剧降低,且摩擦系数也随之减小;当PTW质量分数为20%时,复合材料的耐磨损性能最佳,是纯PTFE的1000倍;但当质量分数超过20%,PTW与PTFE间的结合力会逐渐减弱,导致PTW从PTFE基体上剥落形成颗粒磨屑,进而加剧了复合材料的磨损。

(4) 纳米材料

纳米材料由于其独特的小尺寸效应及表面效应等特性而具有常规粉末材料所不具备的优异性能。利用纳米材料的比表面积大、表面能高、与聚合物复合有很好的界面效应等特点,用纳米材料来填充改性PTFE,可以改善PTFE的摩擦学性能和力学性能。

用纳米凹凸棒粘土(AT)填充改性PTFE时,随着纳米AT含量的增加,复合材料的吸热能力和热稳定性提高,吸热能力的提高有助于改善复合材料的耐磨损性能;纳米AT填充PTFE复合材料易于在对偶件表面形成转移膜,阻止PTFE分子链的破坏,使复合材料的磨屑更为细小。与纯PTFE相比,纳米AT填充PTFE复合材料的磨损率降低了两个数量级^[15]。

甄明晖等^[16]研究了纳米蒙脱土(MMT)填充PTFE复合材料。结果表明,纳米MMT提高了复合材料的硬度和剪切强度;纳米MMT对PTFE分子链有牵制作用,防止了其大分子链的断裂脱落,提高了复合材料的耐磨损性能;纳米MMT对

PTFE复合材料摩擦系数的影响不大,在使材料降低磨损量的同时,保持了低的摩擦系数。

L. David等^[17]用纳米 Al_2O_3 填充改性PTFE,发现纳米 Al_2O_3 的质量分数为1%~30%时,纳米 Al_2O_3 可以有效降低PTFE复合材料的磨损率,但增大了其摩擦系数;随着纳米 Al_2O_3 含量的增加和实验时间的延长,PTFE复合材料的摩擦系数和磨损率趋于稳定;当纳米 Al_2O_3 质量分数为1%时,复合材料的耐磨损性能是纯PTFE的3000倍;当纳米 Al_2O_3 质量分数为5%时,复合材料具有最低的磨损率和最小的摩擦系数。

J. Y. Lee等^[18]研究了碳纳米粒子的合成及不同碳纳米粒子填充改性PTFE复合材料的摩擦学性能。发现碳纳米粒子可改善PTFE复合材料的摩擦学性能,降低复合材料的磨损率,PTFE复合材料的摩擦学性能对碳纳米粒子的结构和性质有极大的依赖性。

纳米SiC具有优良的耐磨损性和热力学稳定性,常常用作填料以改善复合材料的摩擦学性能。纳米SiC填充PTFE复合材料的硬度随着纳米SiC含量的增加而增大,纳米SiC具有承载作用,阻止了复合材料带状结构的大面积破坏,改变了磨屑的形成机理;PTFE复合材料在对偶件表面形成了一层转移膜,隔离了复合材料与对偶件的直接接触,降低了复合材料的磨损率。PTFE复合材料的磨损率随着纳米SiC含量的增加而明显减小,而摩擦系数在一定范围内基本不变^[19]。

1.2 金属填料

金属粉末可以改善PTFE复合材料的力学性能和摩擦学性能。通常采用铜、铁、铅、钼、钨、银等金属粉末来填充改性PTFE,尤以铜及其合金最为常用。金属粉末填充量一般不应超过PTFE体积的20%,这是因为如果金属含量过高就会在材料表面富集,从而导致复合材料的摩擦系数大幅度提高,降低其耐磨损性能。

铜及其合金粉末可提高PTFE复合材料的硬度、抗蠕变性及尺寸稳定性,但复合材料的耐腐蚀性能与介电性能有所下降。铜粉用作填充改性时其用量可达PTFE体积的60%,高于其它一般填料。青铜良好的延展性有利于PTFE复合材料转移膜的形成,且转移膜厚度随着青铜填充量的增加而略有增大,高填充量青铜可以改善PTFE复合材料的摩擦学性能,减小摩擦系数,延长复合材料的使用寿命,磨损机制表现为疲劳磨损和粘着磨损^[20]。

铅具有良好的润滑性和变形性,铅改性PTFE复合材料的耐磨损性能较好,摩擦系数降幅不大,摩擦过程中能产生均匀连续的转移膜,铅增强了转移膜与对偶件表面的附着力,降低了复合材料的磨损率^[21]。

张招柱等^[22]系统研究了铜、铅和镍填充改性PTFE复合材料的摩擦磨损性能。研究发现,铜、铅、镍均改善了PTFE复合材料的耐磨损性能,使复合材料的磨损量比纯PTFE降低了1~2个数量级;铜、铅、镍不仅阻止了PTFE带状结构的破坏,改变了材料的磨损机制,而且增强了转移膜与对偶件表面间的粘附,从而大大降低了复合材料的磨损,改善了复合材料的摩擦学性能。

1.3 有机填料

用于填充 PTFE 的有机填料主要有聚醚醚酮(PEEK)、聚苯硫醚(PPS)、聚丙烯腈(PAN)和聚苯酯(Ekonol)等。有机填料可以改善 PTFE 的耐热性、抗蠕变性、力学和摩擦学等性能。

L. David 等^[23]研究了 PEEK 填充改性 PTFE 复合材料的摩擦磨损性能。研究表明,PEEK 改变了 PTFE 的磨损机制,改善了复合材料的摩擦学性能,使材料具有低的摩擦系数和极低的磨损率;当 PEEK 质量分数为 50% 时,摩擦系数由纯 PTFE 的 0.132 降低到了 0.111;当 PEEK 质量分数为 20% 时,磨损率从纯 PTFE 的 $6 \times 10^{-4} \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ 降低为 $2.3 \times 10^{-9} \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$,降低了 5 个数量级。L. Babu 等^[24]的实验结果表明,PEEK 填充改性 PTFE 复合材料在室温和 100℃ 时都具有良好的摩擦学性能。

PPS 具有优良的耐热性、耐腐蚀性和抗辐射性能。研究表明,PPS 和 PTFE 具有相容性,PPS 填充改性 PTFE 复合材料在摩擦对偶件表面可以生成一层薄且均匀、粘着力强的转移膜,所生成的转移膜在摩擦过程中防止了对偶件表面的微凸起对 PTFE 复合材料的犁耕作用,使 PTFE 复合材料的耐磨损性能显著提高^[25]。

Ekonol 是一种芳香族聚合物,具有良好的热稳定性、抗蠕变性和耐化学药品性,在性能上能够与 PTFE 形成很好的互补,Ekonol 可以提高 PTFE 的导热性及耐高温蠕变等性能。蔡立芳等^[26]在 PTFE 中填充少量 Ekonol 后,PTFE 复合材料的磨损量急剧减小,当 Ekonol/PTFE 的质量比为 5:100 时,PTFE 复合材料的耐磨损性能比纯 PTFE 提高了 20 倍;Ekonol 改善了 PTFE 复合材料的导热性能,减缓了摩擦热在摩擦表面上的大量累积,提高了 PTFE 复合材料的耐磨损性能。Ekonol 作为增强相还可以承受摩擦过程中的大部分载荷,减少过多的 PTFE 向对偶件转移,从而提高了 PTFE 复合材料的耐磨损性能;随着 Ekonol 含量的增加,复合材料的磨损机制由犁削磨损转变为疲劳磨损^[27]。

宋明斌等^[28]研究了 PAN 填充改性 PTFE 复合材料的摩擦磨损性能。研究发现,PAN 不但使 PTFE 的磨损量大幅降低,而且还使其摩擦系数减小;PAN 填充 PTFE 复合材料的对偶面有完整且不易脱落的转移膜,这是由于 PAN 提高了转移膜与对偶面的结合力,减少了形成转移膜-转移膜脱落-再形成转移膜这一循环过程,从而降低了 PTFE 复合材料的磨损量。

2 多种填料混合填充改性

不同填料填充改性对 PTFE 复合材料的摩擦学性能的影响也不相同,通过填充多种填料对 PTFE 改性可改善单一填料填充时的性能缺陷,使得其更适用于多种工程领域应用。利用不同填料的性质及多种填料填充改性 PTFE 时所具有的协同效应,可以更好地提高 PTFE 的摩擦学性能。

2.1 无机非金属填料与无机非金属填料

无机非金属填料填充改性不仅使复合材料获得了优异性能,而且扩大了复合材料的应用范围,提高了材料的利用率,同时也降低了成本^[29]。无机非金属填料在 PTFE 复合材料中可起到增强增韧的效果,可改善其摩擦学性能。

雷晓宇等^[30]研究了石墨/纳米高岭土填充 PTFE 复合材料的摩擦学性能,发现复合材料的耐磨损性得到了显著提高,同时保持了较低的摩擦系数。在石墨/纳米高岭土填充 PTFE 复合材料中,高岭土作为硬质相粒子起到了增强基体的作用,使材料硬度增大,抗犁削能力增强,耐磨损性提高;石墨作为润滑相,在摩擦时容易吸附到对偶件表面形成转移膜,起到润滑作用,以减少材料的磨损。纳米高岭土、石墨的质量分数分别为 10%、5% 时,PTFE 复合材料的摩擦磨损性能最佳,润滑性能优于纯 PTFE 材料,其耐磨损性提高了约 90 倍。

龚俊等^[31]以 MoS_2 和石墨来填充改性 PTFE,结果表明,填充石墨和 MoS_2 的 PTFE 复合材料的摩擦系数减小,耐磨损性提高,且磨损机制由以犁沟效应和粘着磨损为主转变为以磨粒磨损为主;石墨和 MoS_2 填充 PTFE 的耐磨损性能比纯 PTFE 显著提高,其原因一方面是石墨和 MoS_2 起到了增强作用,另一方面是由于石墨微粒的脱落形成的转移膜起到了润滑剂的作用,吸附在对偶件表面上的石墨转移膜阻碍了磨损的进行;石墨和 MoS_2 阻止了 PTFE 带状结构的大面积破坏,改变了磨屑的形成机制,从而降低了复合材料的磨损。

何春霞^[32]研究了不同无机纳米材料与石墨协同填充改性 PTFE 的摩擦学性能。无机纳米材料与石墨可以不同程度地提高 PTFE 的耐磨损性能,而对 PTFE 耐磨损性能的提高程度却各不相同,其中以纳米 SiO_2 /石墨填充 PTFE 复合材料的磨损量最小,纳米 Al_2O_3 /石墨填充 PTFE 复合材料的磨损量较大;纳米 SiO_2 /石墨填充 PTFE 的摩擦系数与纯 PTFE 相差不大,而纳米 Al_2O_3 /石墨填充 PTFE 复合材料的摩擦系数比纯 PTFE 小。无机纳米材料、石墨可提高 PTFE 的硬度及耐磨损性,其中无机纳米材料起到了支撑载荷的作用,石墨起了润滑剂的作用。

2.2 有机填料与其它填料

有机填料与其它填料混合填充往往比单一填料填充对 PTFE 摩擦学性能的改善效果更好,有机填料与其它填料之间具有一定的协同效应,可以使 PTFE 复合材料的综合性能更加优异。

曹翠玲等^[33]考察了青铜粉、 MoS_2 和 CdO 及聚全氟乙丙烯(FEP)填充改性 PTFE 复合材料的摩擦磨损性能,发现 FEP 与 PTFE 具有很好的相容性,FEP 可以显著提高 PTFE 的拉伸性能; CdO 促进了 PTFE 复合材料向对偶件表面的转移,使转移膜与对偶件表面形成很强的结合力, CdO 还提高了 PTFE 复合材料的承载能力,阻止了 PTFE 带状结构的大面积破坏;青铜粉提高了 PTFE 复合材料的硬度和耐磨损性能,使其磨损机制由粘着磨损向磨粒磨损和粘着磨损转变。

李文忠等^[34]研究了 PPS 和 PEEK 混合填充 PTFE 复合材料的摩擦磨损性能,当 PPS 含量较高时,PPS 贯穿于 PTFE 基体中形成空间网状结构,提高了 PTFE 复合材料抗犁削和粘着能力,裸露表面的部分 PPS 有效地承担了载荷,从而提高了 PTFE 复合材料的耐磨损性能;PEEK 与 PTFE 共同在对偶件表面形成连续而牢固的转移膜,降低了 PTFE 复合材料的摩擦系数,同时也提高了复合材料的耐磨损性能。

蔡立芳等^[35]用 Ekonol、石墨和 MoS_2 混合填充 PTFE,

Ekonol 提高了 PTFE 的抗蠕变性能和耐磨损性能,同时阻止了 PTFE 与对偶件的直接接触;石墨和 MoS_2 降低了复合材料的摩擦系数,改善了摩擦学性能。Ekonol、石墨和 MoS_2 在沒有大幅度提高 PTFE 复合材料摩擦系数的同时,极大地改善了其耐磨损性能。

2.3 纤维与其它填料

纤维与其它填料共混填充改性 PTFE 有利于提高复合材料的力学性能和摩擦学性能。

纳米 TiO_2 与 CF 能够很好地协同填充改性 PTFE。CF 的主要作用是力学支撑、网状束缚基体和减少基体的破坏,纳米 TiO_2 可以使 CF 填充不到的贫纤维区得到增强,并且聚集在摩擦面起到“滚珠”效应;纳米 TiO_2 与 CF 协同增强 PTFE 能够形成一种尺寸互补、功能互补的结构,使材料的摩擦磨损性能得到显著提高^[36]。

范清等^[37]研究了 CF、GF 和石墨混合填充改性 PTFE 复合材料的力学性能和摩擦磨损性能。混合填充 CF、GF 提高了 PTFE 复合材料的硬度,使复合材料的摩擦系数增大不明显,但却极大地提高了耐磨损性能;在此基础上填充石墨后,复合材料的磨损率降低,摩擦系数与纯 PTFE 的摩擦系数基本相同,这说明三种填料在 PTFE 复合材料中起到了很好的协同作用。

A. Khoddamzadeh 等^[38]用 Tribaloy 401 (T-401) 合金、CF、青铜粉和石墨混合填充改性 PTFE。结果表明,CF 提高了复合材料的承载能力和抗蠕变性等力学性能,T-401 合金的亚共晶微结构使其具有优良的耐磨损性和延展性,石墨降低了 PTFE 复合材料的摩擦系数,并且与青铜粉共同提高了 PTFE 复合材料的导热性能。这种新型的共混改性 PTFE 复合材料在保持低摩擦系数的同时,耐磨损性能显著提高。

纤维与 PTFE 在结构和性质上存在着较大的差别,两者之间的结合力来源于物理吸附力及纤维表面空隙浸入而形成的机械作用力。为了改善纤维与 PTFE 的浸润性、界面结合力,提高纤维填充改性 PTFE 复合材料的综合性能,需要对纤维表面进行处理。Cheng Xianhua 等^[39]采用稀土处理 CF、GF,改善了纤维填充 PTFE 复合材料的界面结构,提高了 PTFE 复合材料的耐磨损性能和力学性能。Shi Yijun 等^[40]研究了 HNO_3 、硅烷偶联剂、稀土处理 CF 和纳米 CF 填充改性 PTFE 复合材料的摩擦学性能。结果表明,表面处理纤维填充 PTFE 复合材料的磨损量明显下降。

3 结语

作为一种性能优良的特种工程塑料,PTFE 在很多领域发挥着越来越重要的作用。填充改性是扩大 PTFE 应用领域非常有效的方法,可以根据不同的用途和工况条件选择不同的填料进行填充改性。

(1) 填充改性提高了 PTFE 复合材料的承载能力,阻止了 PTFE 的带状磨损和大面积的剥落,改变了材料的磨损机制。

(2) 不同填料对 PTFE 复合材料摩擦学性能的影响也各不相同。硬质填料起到承载作用,提高了复合材料的耐磨损性能;质软填料起到润滑作用,降低了复合材料的摩擦系数,改善了复合材料的耐磨损性能。

(3) 混合填充 PTFE 的多种填料之间具有协同效应,既提高了 PTFE 复合材料的承载能力,又促使摩擦界面转移膜的形成,降低了复合材料的摩擦系数,提高了复合材料的耐磨损性能,使 PTFE 复合材料具有更优异的综合性能。

参考文献

- [1] Biswas S K, et al. Wear, 1992, 158(1-2): 193-211.
- [2] 李文忠,等. 润滑与密封, 2006, 31(4): 29-31.
- [3] 贾良菊,等. 煤矿机械, 2005, 30(3): 41-43.
- [4] Thomas L, et al. Wear, 2008, 265(1-2): 203-213.
- [5] Su Fenghua, et al. Wear, 2008, 265(3-4): 311-318.
- [6] 史丽萍,等. 工程塑料应用, 2003, 31(9): 53-55.
- [7] Zhang Zhaozhu, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2001, 80: 1891-1897.
- [8] Zhang Zhaozhu, et al. Journal of Applied Polymer Science, 1997, 66: 85-93.
- [9] 余达强,等. 润滑与密封, 2004, 29(6): 64-68.
- [10] Unal H, et al. Materials and Design, 2004, 25(3): 239-245.
- [11] Unal H, et al. Appl Compos Mater, 2007, 14: 287-306.
- [12] 单昆仑,等. 润滑与密封, 2006, 31(5): 88-90.
- [13] 孙春峰,等. 塑料工业, 2002, 30(4): 25-26.
- [14] Feng Xin, et al. Wear, 2006, 26(1): 1208-1212.
- [15] Lai Shiquan, et al. Macromolecular Materials and Engineering, 2004, 289: 916-922.
- [16] 甄明晖,等. 材料科学与工程学报, 2006, 24(3): 410-413.
- [17] David L, et al. Wear, 2006, 260(7-8): 915-918.
- [18] Lee J Y, et al. Composites Part B: Engineering, 2007, 38(7-8): 810-816.
- [19] 路琴,等. 工程塑料应用, 2007, 35(1): 54-56.
- [20] Wang Yunxia, et al. Wear, 2007, 262(7-8): 876-882.
- [21] 周邵萍,等. 机械科学与技术, 2002, 7(21): 628-630.
- [22] 张招柱,等. 高分子材料科学与工程, 1999, 15(1): 68-72.
- [23] David L, et al. Wear, 2006, 261: 410-418.
- [24] Babu L, et al. Tribology Letters, 2007, 25(1): 71-77.
- [25] 何志敏,等. 塑料, 2005, 34(2): 59-62.
- [26] 蔡立芳,等. 郑州轻工业学院学报, 2008, 23(2): 20-23.
- [27] 贾晓梅,等. 润滑与密封, 2005, 30(5): 16-19.
- [28] 宋明斌,等. 材料工程, 2006(10): 52-55.
- [29] 李正光. 工程塑料应用, 2008, 36(3): 83-85.
- [30] 雷晓宇,等. 润滑与密封, 2008, 33(1): 97-100.
- [31] 龚俊,等. 润滑与密封, 2006, 31(12): 146-148.
- [32] 何春霞. 复合材料学报, 2002, 19(6): 111-115.
- [33] 曹翠玲,等. 材料科学与工程学报, 2006, 24(1): 139-144.
- [34] 李文忠,等. 润滑与密封, 2006, 31(10): 8-11.
- [35] 蔡立芳,等. 润滑与密封, 2006, 31(2): 83-95.
- [36] 汪怀远,等. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(4): 89-93.
- [37] 范清,等. 润滑与密封, 2008, 33(5): 81-83.
- [38] Khoddamzadeh A, et al. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2008.08.007>.
- [39] Cheng Xianhua, et al. Tribology Letters, 2006, 21(2): 153-160.
- [40] Shi Yijun, et al. Journal of Materials Science, 2007, 42(20): 8465-8469.

STUDY ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF PTFE COMPOSITES

Niu Yongping^{1,2}, Cai Lihua^{1,2}, Zhang Yongzhen²

(1. School of Chemical Engineering & Pharmaceutics, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2. Key Laboratory of Materials Tribology, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

ABSTRACT The advance in the research of tribological modification of PTFE composites at home and abroad is reviewed. The effects of different fillers on the tribological properties of PTFE based composites are systematically presented. It is pointed out that filling PTFE with several fillers can improve the carrying capacity and abrasion resistance and decrease the frictional coefficient.

KEYWORDS PTFE, composite, filler modification, friction, abrasion

富士通计算机将使用阻燃生物塑料

富士通公司将使用一种具有优异阻燃性能的生物塑料来生产计算机模型,该新型生物塑料为聚乳酸和硅聚碳酸酯共聚的高分子合金,具有高耐热性,并已通过阻燃认证。它由富士通与日本出光公司合作开发,出光公司负责生产。

该生物塑料将用于功能部件,例如后盖板、铰链和硬盘驱动器外壳。富士通和出光公司将继续合作提高生物塑料在计算机中的用量,目前的用量为 25%。

该公司还打算开发这种生物塑料的新用途,通过进一步改善阻燃性,将其应用到手机上。(中国胶粘剂网)

七种物质进入 REACH 限制名单草案

近日,欧洲化学品管理署(ECHA)继去年 15 种物质被列入首批 REACH 高关注名单(SVHC)后,公布了首批需 ECHA 授权才能使用的物质名单草案。根据该草案,7 种物质首先被列入了清单。

被列入清单的 7 种物质分别为:5-叔丁基-2,4,6-三硝基间二甲苯(二甲苯麝香),短链氯化石蜡(SCCPs, C10 ~ C13),六溴环十二烷(HBCDD)和所有有关联的主要非对应异构体,邻苯二甲酸双(2-乙基己)酯(DEHP),邻苯二甲酸丁苄酯(BBP),邻苯二甲酸二丁酯(DBP)和 4,4'-二氨基二苯甲烷(MDA)。

根据 REACH 法规,企业如果要使用进入授权名单的物质,就必须申请许可。申请者必须论证物质使用风险可以充分控制,或是社会经济利益超过使用风险,且没有替代物和相应的替代技术。

ECHA 表示,他们是根据产品的固有特性、用途和批准用量来评估是否将这些化学品列入 REACH 限制清单的。各利益相关方必须于 2009 年 4 月 14 日对磋商做出回应, ECHA 将于 2009 年 6 月 1 日之前确定优先列表。ECHA 还建议,授权申请应当在以上物质进入 REACH 附件 XIV 后 24 ~30 个月期间提交。这些物质进入名单之后,42 ~48 个月后将不再继续使用。

ECHA 还建议,76/769/EEC 指令中特殊条件下允许使用的豁免类物质,也应加入评估当中。ECHA 表示,将参考协商期间所收到的评论及成员国委员会的意见,可能会对草案进行修改,并将该提议提交到欧盟委员会审议。对于是否对萘、氯化钴、五氧化二砷、三氧化二砷、重铬酸钠二水合物、氧化双三丁基锡、酸式砷酸铅、三乙基砷酸酯等 8 种物质进

入 SVHC 名单的物质进行授权,ECHA 表示将在晚些时候再做考虑。ECHA 建议下游企业应尽快排查是否正在使用被列入 SVHC 的原料,定期审核供应商(必要时向原料供应商提供安全数据表),并在规定期限内逐步替代 SVHC 原料。

(中聚网)

双峰聚乙烯催化剂实现国产化

日前,国产双峰聚乙烯 SLC-B(25)催化剂在上海石化塑料部 4 号聚乙烯装置上成功进行了四次工业化应用试验,其性能、效率都达到了进口催化剂的水平,实现了北欧双峰聚乙烯工艺催化剂国产化,预计每年可为上海石化降低生产成本上百万元。(化工易贸网)

我国二氧化碳制塑料技术获得推广

2009 年 2 月上旬,由中海石油投资控股有限公司投资兴建的 3000 t/a 二氧化碳制可降解塑料生产装置投料成功并产出合格产品。该项目总投资 1.52 亿元,于 2007 年 7 月动工建设。

该项目采用中科院长春应用化学研究所自主研发的二氧化碳制可降解塑料专利技术,委托中海石油化学股份有限公司进行项目建设和生产作业管理。项目充分依托东方工业园区内已建成装置的水、电、汽等资源,以各装置排放的二氧化碳气体为原料。

该项目每生产 1 t 塑料需要消耗 0.5 t 二氧化碳,目前中海油在项目临近的南海莺歌海盆地已探明天然气储量约 2 万亿立方米(其中 70% 富含二氧化碳)。该项目的成功投产将为天然气项目伴生二氧化碳的利用开拓新的方向。

据亚化咨询统计,随着该项目的投产,中国二氧化碳制塑料工业装置达到了 4 个。同样采用中科院长春应用化学研究所技术的内蒙古蒙西集团 3000 t/a 全生物降解二氧化碳共聚物示范生产线,已实现长周期运转。蒙西集团有计划建设 3 万 t/a 的同类生产线。

此前的 2007 年,采用中科院广州化学研究所技术的中科金龙化工股份有限公司万吨级二氧化碳制塑生产线,实现了正常化生产。目前,中科金龙已经形成年产 2 万 t 二氧化碳树脂的生产规模。

此外,河南天冠集团采用中山大学技术的 5000 t/a 全降解塑料产业化生产线也已经投产,使用的是酒精生产过程中副产的二氧化碳。亚化咨询认为,二氧化碳制塑料技术获得推广将为我国的碳减排提供新的思路。(中聚网)