

滑动轴承聚合物基自润滑材料的开发与应用进展

刘 勇 蒋 斌 郝明凤 丁玉梅 杨卫民

(北京化工大学机电工程学院,北京 100029)

屈兴荣

(大连润宝复合轴承有限公司,大连 116100)

摘要 介绍聚四氟乙烯、聚醚醚酮、聚酰胺、聚甲醛、聚酰亚胺等滑动轴承用自润滑材料的研究开发情况、性能特点及用途,重点介绍了聚醚醚酮复合材料的共混改性、纤维增强改性、填充改性和表面改性等方面的研究进展和应用情况,并提出了自润滑材料今后的发展方向。

关键词 聚合物基复合材料 自润滑 滑动轴承 聚醚醚酮

滑动轴承是在滑动摩擦条件下工作的轴承,也称平面轴承。轴被轴承支承的部分称为轴颈,与轴颈相配的零件称为轴瓦(轴套、轴承套)。为了改善轴瓦表面的摩擦性质而在其内表面上浇铸、涂覆或复合的减摩材料层称轴承衬。轴瓦和轴承衬材料统称为滑动轴承材料。滑动轴承形式简单、接触面积大、工作平稳可靠、无噪声。在液体润滑条件下,滑动表面被润滑油分开而不直接接触,可大大降低摩擦损失和表面磨损,另外油膜还具有一定的吸振能力。因此它被广泛应用在内燃机、轧钢机、大型电机及仪表、雷达、天文望远镜等方面。滑动轴承的缺点是无法保持足够的润滑油储备,且启动摩擦阻力较大,一旦润滑油不足,将产生严重磨损并导致失效。而采用具有自润滑功能的滑动轴承材料,能有效降低启动摩擦阻力,且在无润滑油的特殊情况下能短时间甚至长期正常运行。因此具有自润滑功能的滑动轴承材料成为国内外竞相研究的热点之一^[1~3]。

当前具有自润滑功能的轴承材料主要有金属基、陶瓷基和聚合物基复合材料。金属基复合材料主要有粉末冶金整体烧结型、镶嵌型、梯度自润滑型等;陶瓷基复合材料主要有 Si_3N_4 基、 SiC 基等;聚合物基复合材料采用的基体主要有聚四氟乙烯(PTFE)、聚甲醛(POM)、聚酰胺(PA)、聚酰亚胺(PI)、聚苯硫醚(PPS)、聚酯、酚醛树脂、聚砜、聚醚醚酮(PEEK)等。笔者现对常用的聚合物基自润滑材料的性能、特点及应用开发情况进行综述。

1 PTFE 轴承材料

1945 年,美国杜邦公司首先开发生产出 PTFE。纯 PTFE 是目前已知固体工程材料中摩擦系数最低的,具有优异的热稳定性和耐化学药品性,但其拉伸强度仅为 21~28 MPa,弯曲强度为 11~14 MPa,断裂伸长率为 250%~300%,且硬度低、蠕变较大、回弹性较差、导热性差、耐磨性也很低。用玻璃纤维(GF)、青铜粉、石墨、二硫化钼等填充 PTFE 后,其强度、刚度、抗蠕变性、耐磨性等有明显的提高,是理想的轴承材料。也可用 PI 等耐高温材料作为改性剂填充 PTFE,提高其耐磨性,可适用于无油润滑条件下强腐蚀、高温等苛刻工作条件下。张招柱等^[3]研究了碳纤维(CF)、GF 及 $\text{K}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$ 晶须(PTW)以体积分数 30% 填充的 PTFE 的摩擦性能。发现 CF、GF、PTW 均在不同程度上增大了 PTFE 复合材料的摩

擦系数,其中 CF 增强 PTFE 复合材料的摩擦性能最好,PTW 增强型最差。这些填充材料均使 PTFE 的磨损量降低了 2 个数量级,其中 GF 的减磨效果最好,而 PTW 的减磨效果最差。吴良奎等^[4]研究了聚苯酯(聚对羟基苯甲酸酯)填充 PTFE 体系,发现随着聚苯酯含量的增加,复合材料的摩擦系数逐渐增大,但总体上比较小(<0.14),表现出了较好的摩擦性能,同时复合材料的耐磨性随聚苯酯含量的增加而增大,承载能力增加,材料抵抗微切削的能力增大。蔡立芳等^[5]采用聚苯酯对 PTFE 进行改性,并对改性后复合材料的导热及摩擦学性能进行了研究。发现当聚苯酯与 PTFE 的质量比为 5:400 时,复合材料的热扩散率可达 $2.646 \text{ mm}^2/\text{s}$,导热性能显著提高,耐磨性提高了 20 倍。聚苯酯改性 PTFE 的摩擦磨损性能虽有所改善,但力学性能却有所下降。陈刚^[6]研究了铜粉、GF、石墨、CF 和碳纳米管等填充 PTFE 的摩擦磨损性能并提出了相应的磨损机理。笔者开发了一种 PTFE 纤维与芳纶纤维的混编物,并将混编物粘结到钢背上制成了自润滑滑动轴承,其不仅有低的摩擦系数,还大大提高了耐磨性。

2 PA 轴承材料

最早工业化生产的 PA 品种为 PA66,美国杜邦公司于 1937 年公布第一个专利,制得 PA66 纤维样品,1938 年建立了试验工厂,1939 年工业化生产装置投入运转。1958 年我国试制成功 PA1010^[7]。由于 PA 特殊的分子结构和结晶形态,其具有良好的力学性能、耐磨、耐油、可在 $-40 \sim 105^\circ\text{C}$ 的温度下工作、耐化学药品性好、抗蠕变性能好等特点。其缺点是易吸水,可溶于大部分有机溶剂,没有足够强的耐环境能力和不能满足高加工精度要求^[8]。纤维、石墨、PTFE 和二硫化钼等可提高 PA 的耐热性能,降低其热膨胀系数,使其达到极高的 PV 值,可作为一种性能较好的自润滑轴承材料。如美国明尼苏达州的 RTP 公司推出了一种填充芳香族纤维和 PTFE 的系列 PA 配混料,用该配混料替代金属制作了轴承,发现芳香族纤维能提高轴承的耐磨性,并显著降低中间轴的表面磨损,而 PTFE 有内润滑作用,并赋予部件承受更大的动态负荷能力,从而降低轴承与其它部件间的摩擦力^[9]。张静霞^[10]研制了一种自润滑浇铸油 PA 轴承,该轴承具有尺

寸稳定性好、摩擦偶的承载能力好、力学强度高、耐磨性能好、使用寿命长、成本低等优点。骆志高等^[11]介绍了油 PA 与铜钉板的复合加工工艺,发现油 PA 的制备与复合烧结温度是试验成败的决定因素。此种材料的承载能力高,摩擦系数和磨损量低,对泥沙的包容性强,非常适用于要求重载低磨而又水质浑浊的场合。笔者在前人基础上研制了以二硫化钼为添加剂的浇铸 PA 轴套,工程应用表明,该轴套具有耐磨耗、摩擦系数小、自润滑性能好、质量轻、噪音低、耐腐蚀、质地柔韧等特点。

3 POM 轴承材料

1955 年前后杜邦公司首先由甲醛聚合得到甲醛的均聚物 POM。POM 物理性能优异,耐磨减摩,耐疲劳性极好,蠕变低,尺寸稳定,有较好的化学稳定性和电性能^[12],尤其是油在 POM 上的吸附能要比在金属材料上大 20%,因此用 POM 制作的滑动表面有优异的边界润滑特性,边界润滑膜的承载能力很高,在较高载荷作用下,仅需少量的润滑油脂,其摩擦系数便低于 0.05,从而大大改善摩擦条件,提高性能,延长使用寿命。李小慧^[13]用纳米氧化铝对 POM 进行改性,结果表明,纳米氧化铝使 POM 变脆,但刚性增强,干摩擦性能降低,磨损的主要机理为磨粒磨损,其油摩擦性能得到了显著提高。刘宽祥等^[14]发现在滑动轴承轴套的 POM 表层中添加一定量的纳米二硫化钼,不仅可以提高其润滑性,还能得到好的导热特性,有利于摩擦热的释放,质量分数为 5.0% 的纳米二硫化钼可以使 POM 的导热系数提高 25%。陶克梅^[15]研究了 PTFE 及超细高岭土填充 POM 后的摩擦磨损性能,发现只填充 PTFE 的 POM 的摩擦系数和磨损率较纯 POM 均有较大幅度的下降,少量高岭土与 PTFE 复合填充的 POM 的摩擦系数很小,耐磨性很好。回收 PTFE 经粉碎后添加到 POM 中,同样也能降低 POM 的摩擦系数,提高其耐磨性^[16]。金属铜粉也可以改善 POM 的摩擦性能,王洪涛等^[17]将 75 μm 的铜粉和纳米铜粉分别添加到 POM 中,发现两者均可降低 POM 的磨损,但纳米铜粉的改性效果更好。

加载条件也对 POM 基复合材料的摩擦性能有重要影响,吴茵^[18]发现,在标准加载条件下,聚苯酯填充改性 POM 的摩擦系数和磨损率随聚苯酯含量的增加而呈现先下降后上升的趋势;而在载荷逐步增加的加载条件下,其摩擦系数呈先增大后减小趋势,磨损率则随着载荷的增加而增大。笔者研制生产的内覆 POM 层的钢基轴承套,其中 POM 层厚度 $\geq 1.5\text{ mm}$,弹性模量小,弹性较大,具有很好的自适应性。由于采用了先进的结合工艺,其表面压缩屈服极限 $\geq 150\text{ MPa}$ 。

4 PI 轴承材料

PI 是分子结构含有酰亚胺链节的芳杂环聚合物,是 20 世纪 60 年代实现工业化生产的一类耐高温聚合物。根据主链中的基团不同,PI 分为不同的种类,具有代表性的有均苯型 PI、联苯型 PI、酮酞型 PI、聚醚酰亚胺(PEI)等。其中,主链中主要含有芳香基团的又被称为芳香族 PI^[19]。由于分子链中稳定的芳香环和酰亚胺环的存在,大部分芳香族 PI 均

具有很好的耐热性,起始分解温度一般可达 400 ~500 $^{\circ}\text{C}$ 。PI 有突出的力学性能和耐高温性能,在真空中挥发物少,摩擦系数低,特别适用于真空中或高温条件下工作的轴承^[20~21]。在惰性介质中,PI 轴承在高载荷、高转速下的磨损率也非常小。均苯型 PI 具有很高的 PV 值,无油条件下也能保持良好的耐磨性,已有多项 PI 基复合材料在工业中得到应用^[22]。互穿网络型 PI 在轴承中的应用还不多见。刘玉辉^[23]研制了互穿网络型 PI 轴承,与橡胶轴承相比有如下优点:优异的摩擦磨损性能,在水中高速滑动下摩擦系数为 0.007 ~0.01;承载能力强,其压缩强度为 150 MPa;许用温度高,可在 70 $^{\circ}\text{C}$ 下正常运行,短时间可在 230 $^{\circ}\text{C}$ 下运行;足够的力学性能和较小的吸水膨胀;良好的工艺性能;轴承间隙稳定。纯 PI 的自润滑性能相对较差,在某些苛刻条件下难以满足要求,因此人们对其进行了填充改性研究。朱鹏等^[24]制备了 CF 改性 PI 环,发现随着温度升高,PI 分子链相对滑移增强,体现出良好的自润滑特性,材料的摩擦系数和磨损率均有所下降;载荷、速度及其交互作用对材料摩擦磨损行为影响不显著。他们^[25]还在 PI 中添加质量分数 20% 的二硫化钼粉末,发现随着载荷的增大,复合材料的磨损率增加,而摩擦系数降低;随着滑动速度的增大,材料磨损率增加,但对摩擦系数的影响不明显,高速下磨损机理主要是严重的粘着磨损和疲劳磨损。贾均红等^[26]研究了含有固体润滑剂的 CF 增强 PI 在干摩擦和水润滑两种状态下的摩擦磨损性能及其磨损机理。结果表明,在水润滑条件下,摩擦系数和磨损率都有不同程度的降低,其中含 PTFE 的 CF 增强 PI 的耐磨性最佳,他们认为主要原因可能与材料存在极性酰胺基团有关,酰胺基团易通过氢键与水分子结合,在摩擦表面形成水吸附膜,使摩擦表面直接接触减少,从而改善材料的摩擦磨损性能。

5 聚苯酯轴承材料

聚苯酯是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型耐高温特种工程塑料,其综合性能优异,分解温度为 550 $^{\circ}\text{C}$,可在 315 $^{\circ}\text{C}$ 下长期使用,在 370 ~420 $^{\circ}\text{C}$ 短期使用;其导热系数较高,比一般聚合物高 3 ~5 倍;摩擦系数为 0.2;有较高的尺寸稳定性和耐辐射性能,有优良的电性能、耐化学药品性能和自熄性^[27];不溶于所有脂肪和芳香族类溶剂;在室温下耐各种酸碱,但易受热酸碱的腐蚀。特别适用于在热水、水汽环境中运转的轴承。聚苯酯的成型加工性较差,常用压制法、喷涂法和涂覆法等成型。聚苯酯高温无油润滑轴承的压制成型可采用烧结法和热压法两种。烧结法与 PTFE 的工艺条件相似,热压法可分为无压冷却法和加压冷却法两种,前者主要适用于生产大批量和短周期的小制品,后者主要适用于成型厚壁大型及尺寸精度要求高的制品。为了提高聚苯酯/PTFE 复合材料的力学性能和耐磨性能,黄承亚等^[28]研究了石墨/二硫化钼无机填料对聚苯酯/PTFE 力学性能和摩擦磨损性能的影响。结果表明,石墨/二硫化钼的加入不仅能够很好地改善聚苯酯/PTFE 复合材料的力学性能,而且还使聚苯酯/PTFE 复合材料的摩擦系数增加,磨损体积减小,耐磨

性显著提高。

何鹏等^[29]在聚苯酯中分别添加不同种类的填料,制备出一系列性能不同的聚苯酯基复合材料。研究发现,在填料的用量相同时,层状固体润滑剂 PTFE 从本质上改善了非熔融聚苯酯的内部粘结,且协助形成较为连续、平滑的转移膜,对聚苯酯摩擦学性能的改善最为明显;其次为纤维状填料。相比于尺寸细微的六钛酸钾晶须,粗大的 GF 或 CF 之间相互交错,对聚苯酯起到了较好的承载骨架作用,能有效提高聚苯酯的摩擦学性能。GF 比 CF 与聚苯酯之间的亲和性好,CF 填充聚苯酯复合材料的摩擦学性能优于 CF 填充聚苯酯复合材料;纳米颗粒填料对聚苯酯有着弥散增强作用,但对聚苯酯摩擦学性能的改善效果最差。

6 PEEK 轴承材料

1981年,英国 ICI 公司开发出 PEEK,其商品名称为“Victrex”。它是以 4,4,2-二氯二苯酮等为原料,以二芳基砒为溶剂,在 300℃ 左右催化缩聚而成的一种全芳香族半结晶性的热塑性聚合物。常温下 PEEK 的摩擦系数为 0.48,磨损率为 $14 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$,其玻璃化转变温度 (T_g) 约为 143℃,熔点约 344℃,有很高的热氧稳定性。其结构规整,具有耐高温、高强度、高模量、高韧性、加工性能好等优异的综合性能,还具有绝缘性、耐水解、耐辐射等优点。其摩擦性能突出,摩擦系数低,承载能力和耐磨性比 PTFE 高,且具有较宽的复合改性条件^[30],与很多材料都有很好的相容性,是一种比 PTFE 更理想的自润滑减摩耐磨材料。但是,单一的 PEEK 还不能满足不同的使用要求,因此,需要对其进行改性处理。改性后的 PEEK 复合材料可在无润滑、低速高载下或在液体、固体粉尘污染等恶劣环境下使用。

6.1 共混改性 PEEK

将 PEEK 与具有高 T_g 的聚合物共混可以提高 PEEK 的热性能^[31]。PEI 是一种无定形材料,相对高的 T_g (215℃) 和优异的力学性能是其主要优点。并且 PEI 在很宽的组分范围内与 PEEK 相容,共混物的 T_g 很高,热性能得到很大的改善。PEI 可提高 PEEK 的结晶度,使 PEEK 硬化。当 PEI 质量分数为 30%~40% 时,PEEK 的结晶度达极大值。Han-chi 等^[32]研究了 20~232℃ 范围内温度变化对 PEEK/PEI 摩擦学性能的影响,结果表明,无论 PEEK、PEI 还是 PEEK/PEI,在 T_g 附近,摩擦学特性转变同玻璃化转变一致;在高速和干摩擦条件下,PEEK/PEI 的摩擦系数随负荷的增加而增大,磨损也增大,但均低于纯 PEEK。

PEEK 与 PTFE 共混制成的复合材料,在保持 PEEK 高强度、高硬度的同时,还有突出的耐磨性。D. L. Burris 等^[33]将 PEEK 和 PTFE 进行共混,得到了有不同强度、硬度、耐磨性且在滑动表面有固体润滑特性的复合材料。J. Bijwe 等^[34]则研究了 PTFE 含量对 PEEK/PTFE 微动摩擦性能的影响,发现当 PTFE 含量增加时,其微动磨损率持续下降,当 PTFE 质量分数为 30% 时,摩擦系数、磨损率、极限 PV 值达最佳组合,是制造滑动轴承的好材料。

6.2 纤维增强改性 PEEK

GF、CF 和各种晶须与 PEEK 有很好的亲和性,可以作为填料增强 PEEK,制成具有高耐磨性能的复合材料^[31]。纤维增强效应能抵消树脂的热软化,并且形成强度非常高的转移膜,有效保护接触区域。不同的纤维对 PEEK 复合材料的力学性能影响有差异,但常用的材料是 CF 和 GF。CF 和 GF 都能使其负载热变形温度超过 300℃,同时其拉伸强度、摩擦性能等均有很大提高。但在相同的实验条件下,CF 增强 PEEK 的性能明显优于 GF 增强的 PEEK。

PEEK/CF 复合材料在摩擦过程中 CF 露头折断形成侧面被磨的 CF 磨屑,磨碎后变成具有优良润滑作用的层状石墨微粒,反复碾压进入转移膜,提高了转移膜的强度、硬度、韧性、光滑程度和寿命,降低了复合材料的摩擦系数和磨损率^[35~36]。PEEK/CF 复合材料作为轴承零件可以避免金属或陶瓷材料由于产生表面裂纹而出现的轴承早期失效。实验证明,当滚珠材料为氧化铝陶瓷时,PEEK/CF 轴瓦的磨损率较低,且随 CF 用量的增加而降低,CF 质量分数为 30% 时,PEEK/CF 的摩擦磨损性能比较理想^[31]。

6.3 填充改性 PEEK

无机填料不仅起到承载、减小变形的作用,也可以改善聚合物转移膜的强度,减小摩擦,降低磨损,形成自润滑复合材料。S. Bahadur 等^[37~38]分别用 CuS 和 CuF₂ 填充 PEEK,有效降低了 PEEK 对钢摩擦副的磨损。研究发现,CuS 体积分数为 35% 时磨损率最低。Zhang Ga 等^[39]研究了 PEEK/纳米 SiO₂ 复合材料的变形和摩擦行为,发现纳米 SiO₂ 的加入使得复合材料的硬度大幅增加,塑性降低。添加体积分数为 1% 的纳米 SiO₂ 后,PEEK 的耐磨性显著增加。郭强等^[40]以不同粒径的 Al₂O₃ 填充 PEEK,发现 Al₂O₃ 粒径为 15 nm 时材料的拉伸强度最高,而粒径为 100 nm 时其弯曲和压缩强度最高。Wang Qihua 等^[41~44]研究了纳米 Si₃N₄、SiC、ZrO₂ 等填充 PEEK 复合材料的摩擦性能,发现在摩擦过程中一部分 Si₃N₄ 被氧化为 SiO₂,改善了转移膜的特征,形成连续致密的转移膜,降低了 PEEK 的摩擦系数和磨损率,而另一部分 Si₃N₄ 则嵌入 PEEK 表面,使聚合物表面变成了粒子增强型材料;体积分数为 1%~4% 的纳米 SiC 填充 PEEK 的磨损率最低。刘玲玲等^[45]研究了粒径小于 100 nm 的 Al₂O₃ 填充 PEEK 的摩擦学性能。当 Al₂O₃ 质量分数为 9% 时,PEEK 蒸馏水的接触角最小;质量分数为 1% 时硬度最大;质量分数为 7% 时摩擦系数达最低。Qiao Hongbin 等^[46]通过研究不同颗粒尺寸的 Al₂O₃ 增强 PEEK 的干摩擦行为,发现质量分数为 5%、粒径为 15 nm 的 Al₂O₃ 增强 PEEK 具有最好的耐磨性。

6.4 表面改性 PEEK

通过物理和化学方法对 PEEK 的表面进行处理使其表面的结构发生变化,极性和亲水性得到改善,可以使 PEEK 与其它物质间的作用力和 PEEK 的力学、热学和摩擦学性能得到改善。常见的表面改性方法有等离子法、激光法等。张人佺等^[47]在国内较早地研究了纯 PEEK、质量分数为 8% 的

PTFE 改性 PEEK 和 10% PTFE、10% 石墨颗粒、10% CF 改性 PEEK 及经等离子处理后的摩擦性能。发现经等离子处理以后,3 种材料的摩擦系数平均值分别由 0.42、0.36、0.28 下降到 0.23、0.18、0.17,磨损率也显著下降。唐群国等^[48]将 PEEK 与等离子喷涂 ZrO_2 、不锈钢(2Cr13)和激光熔覆耐蚀合金 3 种不同的材料组配,研究发现,在水介质中 PEEK 与激光熔覆耐蚀合金组配时,表现出较好的摩擦学性能,主要磨损机理是微观机械切削;而 ZrO_2 涂层与 PEEK 副在本实验条件范围内磨损率较大。

7 结语

随着滑动轴承种类和用量的不断增加,越来越多的设备要求滑动轴承具有自润滑功能,以保证特殊情况下干摩擦不会引起设备停机。随着我国风力发电设备等的迅速增加,偏远设备的维护越来越重要,因此自润滑复合材料在我国有广阔的应用前景。随着新型高性能工程塑料的不断开发和対现有聚合物基自润滑复合材料改性研究的深入,更高性能的自润滑材料会越来越多地涌现,从而大幅度提高滑动轴承的自润滑性能。所以,笔者认为自润滑复合材料的研究方向一是根据对摩擦机理的研究,设计、合成新型具有自润滑功能的高分子聚合物,从根本上提高自润滑性能;另一研究方向是利用现有具有自润滑功能的聚合物,添加纳米材料、热致液晶材料、优良润滑材料等进行改性,获得优良的综合性能,使复合材料满足不同场合的使用要求。

参考文献

- [1] 张国兴. 机械工程师, 2005(9): 114 - 115.
- [2] 孙美丽, 等. 太原重型机械学院学报, 2002, 23: 22 - 24.
- [3] 张招柱, 等. 高分子材料科学与工程, 2001, 17(4): 90 - 93.
- [4] 吴良奎, 等. 润滑与密封, 2008, 33(10): 49 - 51.
- [5] 蔡立芳, 等. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2008, 23(2): 20 - 23.
- [6] 陈刚. 无机填料改性 PTFE 基复合材料摩擦学特性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.
- [7] 曹玉民. 化学教育, 1992(1): 26 - 29.
- [8] 刘超锋, 等. 橡塑资源利用, 2007(1): 26 - 31.
- [9] 海鸣, 译. 上海塑料, 2008(3): 33.
- [10] 张静霞. 自润滑滑铸件尼龙轴承及其加工工艺: 中国, CN1226477A[P]. 1999-08-25.
- [11] 骆志高, 等. 矿山机械, 2007, 35(2): 108 - 109.
- [12] 张志坚, 等. 工程塑料应用, 2009, 37(4): 6 - 9.
- [13] 李小慧. 机械工程材料, 2007, 31(5): 62 - 65.
- [14] 刘宽祥, 等. 聚甲醛基滑动轴承纳米复合材料的传热特性研究[C]. 第八届全国真空冶金与表面工程学术讨论论文集, 2007: 278 - 284.
- [15] 陶克梅. 机械工程材料, 2007, 31(8): 45 - 48.
- [16] 曾敏, 等. 润滑与密封, 2006, 31(1): 97 - 99.
- [17] 王洪涛, 等. 高分子材料科学与工程, 1997, 13(1): 79 - 82.
- [18] 吴茵. 湖南有色金属, 2007, 23(1): 27 - 30.
- [19] 李玉芳. 化工文摘, 2009(4): 17 - 20.
- [20] 李学闵, 等. 工程塑料应用, 2003, 31(9): 39 - 43.
- [21] 乔红斌, 等. 材料导报, 2007, 21(10): 24 - 26.
- [22] 阎逢元, 等. 自润滑纳米复合材料及其制备方法: 中国, CN1414137A[P]. 2003-04-03.
- [23] 刘玉辉. 通用机械, 2008(2): 57 - 59.
- [24] 朱鹏, 等. 润滑与密封, 2007, 32(2): 98 - 101.
- [25] 朱鹏, 等. 润滑与密封, 2006, 31(1): 35 - 37.
- [26] 贾均红, 等. 摩擦学学报, 2002, 22(4): 273 - 276.
- [27] 陈恩强, 等. 化工新型材料, 2002, 30(5): 14 - 17.
- [28] 黄承亚, 等. 复合材料学报, 2006, 23(4): 36 - 40.
- [29] 何鹏, 等. 润滑与密封, 2007, 32(10): 79 - 82.
- [30] 林有希, 等. 润滑与密封, 2006, 31(2): 171 - 176.
- [31] 赵纯, 等. 聚醚醚酮[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 53 - 76.
- [32] Hanchi, et al. Tribology Trans, 1994, 37(3): 494 - 504.
- [33] Burris D L, et al. Wear, 2007, 262: 220 - 224.
- [34] Bijwe J, et al. Wear, 2005, 258: 1536 - 1542.
- [35] 张人佶, 等. 材料工程与科学, 1999, 17(1): 29 - 34.
- [36] 陈世仁. 碳纤维增强 PEEK 复合材料摩擦磨损性的研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [37] Bahadur S, et al. Wear, 1993, 160(1): 131 - 138.
- [38] Yu Laigui, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2000, 76(2): 179 - 184.
- [39] Zhang Ga, et al. Composites Science and Technology, 2008, 68: 3073 - 3080.
- [40] 郭强, 等. 工程塑料应用, 2001, 29(12): 19 - 21.
- [41] Wang Qihua, et al. Wear, 1996, 198: 216 - 655.
- [42] Wang Qihua, et al. Wear, 1996, 196: 82 - 86.
- [43] Wang Qihua, et al. Tribology International, 1997, 30(3): 193 - 198.
- [44] Wang Qihua, et al. Wear, 2000, 243: 140 - 146.
- [45] 刘玲玲, 等. 纳米 Al_2O_3 增强聚醚醚酮/CoCrMo 合金的摩擦学特性研究[C]. 第六届全国表面工程学术会议, 2006: 757 - 760.
- [46] Qiao Hongbin, et al. Tribology International, 2007, 40: 105 - 110.
- [47] 张人佶, 等. 材料研究学报, 2002, 16(1): 1 - 8.
- [48] 唐群国, 等. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(9): 53 - 55.

PROGRESS IN DEVELOPMENT AND APPLICATION OF POLYMER BASED SELF-LUBRICATING MATERIALS IN SLIDING BEARINGS

Liu Yong, Jiang Bin, Hao Mingfeng, Ding Yumei, Yang Weimin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Qu Xingrong

(Dalian Runbao Composite Bearings Co. Ltd., Dalian 116100, China)

ABSTRACT The development, performance and applications of self-lubricating polymer composites such as polytetrafluoroethylene (PTFE), polyetheretherketone (PEEK), polyamide (PA), polyoxymethylene (POM), polyimide (PI) were reviewed. The application and modification included blend, fiber enhancement, filler and surface modification on PEEK were described in detail. And the development direction of self-lubricating material was provided.

KEYWORDS polymer based composite, self-lubrication, sliding bearing, PEEK

2009年石化行业危机下走出V字轨迹

2009年,是我国石油和化工行业顽强迎战金融危机的一年。这一年,全行业按照国家“保增长、扩内需、调结构”的总体要求,积极调整生产,努力扩大投资,加强科技创新,踊跃并购重组,推动节能减排,使行业经济从急转直下到企稳回升,全年经济运行轨迹呈现出一个大大的V字曲线。

伴随着国际金融危机向实体经济的蔓延,石油和化工行业在极大的下行压力下迈入了2009年。2009年年初,行业经济发展沿袭了2008年9月开始的迅速下滑态势,整体仍旧陷于10年来首次经济减速、效益滑坡的深谷。根据中国石油和化学工业协会的统计,2009年一季度,石油和化工总产值同比下降14%。不过,此时行业经济运行也出现了一些积极的变化,国家扩大内需政策的效果逐步显现,加上春耕生产对农用生产资料需求的上升,3月份,国内部分能源、农用化学品、基础化工原料、合成材料等产品价格出现了止跌企稳的表现。此刻,国家的宏观政策为行业走出低谷提供了极大的推动力。2008年底国家出台的一揽子经济刺激政策的逐步落实并渐次发挥作用。2009年2月份国务院原则通过《石化产业调整和振兴规划》,国家2009年以来还相继出台了一系列减轻企业负担的财政、税收等扶持政策措施,比如,在石化行业恢复和提高了千余个税则号的石化产品出口退税率,大部分化工产品出口退税率已调整恢复到9%~13%。

在政策的支持下,通过石化行业全体职工的奋力拼搏,石油和化工行业迎来转机,显示出较为明显的复苏迹象。2009年第二季度,行业总产值增速为-7.9%,三季度为-3.1%,回升势头不断加强。特别是从9月份开始,行业总产值结束了自去年底以来连续9个月负增长的局面,景气度持续上升。9月份,在石化协会重点跟踪的60余种(类)产品中,产量同比增长的占90.3%,行业产值同比增长3.3%。10月份,全行业产品产销率达到99.4%,同比提高2.06个百分点,比年初提高3.82个百分点,行业产值同比增长9.9%。到了11月,全行业规模以上企业实现产值6359.1亿元,创年内最高水平,同比大幅增长28.4%,环比增长3.9%。

分行业来看,石油市场需求继续回升,合成材料、轮胎、甲醇等产品表现消费量继续快速增长。成品油、有机化工原料、合成树脂、合成橡胶等产品价格比2009年年初呈现不同程度的回升。随着国家对化肥出口政策的放宽和化肥淡储的启动,我国化肥行业特别是磷肥行业快速走出困境。来自中国磷肥工业协会的消息显示,下半年,磷肥产量不断增加,

价格开始稳步回升,企业保持了较高的开工率,预计全年磷肥产量可望超过1370万t,达到历史最高水平。

盘点全年石化行业经济运行,特别值得一提的是,作为国民经济支柱产业的石化行业,在面临金融危机严重冲击的情况下,依然发挥了中流砥柱的作用。事实上,石油和化工行业基本属于基础原材料工业,受上游油价和下游需求影响比较大,与其它下游行业比,存在产值恢复滞后、利润波动大的特点,再加上2008年一段时期的国际油价非理性上涨,行业恢复速度和效益受到很大影响,给保增长增加了难度。但是,2009年以来,石油化工行业经济运行质量好于全国其它大多数工业行业,1~10月份,全行业工业增加值同比增长19.6%,比全国工业平均水平9.4%高出了10.2个百分点,对全国经济的平稳较快发展起到了关键性的作用,为保增长、保民生作出了巨大贡献。

但是,我们也必须看到,目前石化行业经济企稳向好的基础还不稳固,还存在很多不确定因素,特别是在世界经济复苏的步伐依然缓慢、国际贸易保护主义日益加剧的情况下,全行业面临的困难和挑战还很严峻。从行业内部来看,部分产品产能过剩严重,企业开工率较低,盲目投资、重复建设的问题也很突出。从外部环境来看,国际贸易保护主义抬头,行业出口形势依然严峻。

(慧聪)

第二届中国国际生物降解塑料应用研讨会

将于上海举办

近年来生物降解塑料产业发展十分迅速,已成为塑料行业令人瞩目的热点。为帮助企业迅速进入降解塑料这块阵地,在第一届中国国际生物降解塑料应用研讨会成功举办的基础上,应广大行业企业的要求,第二届中国国际生物降解塑料应用研讨将于2010年4月17~18日在上海隆重举行。会议内容包括各类降解塑料树脂的发展近况、各类降解塑料的改性进展、各类降解塑料制品的应用前景、各类降解添加剂的研究动态等。配套会议包括生物降解塑料产业园推介会(最优惠土地、建筑、固定资产投资政策)、降解塑料项目投资洽谈会、降解技术成果转让洽谈会等。

主办单位:深圳市塑胶行业协会、上海塑料行业协会、山东邹城市人民政府、深圳市意可曼生物科技有限公司、雅式展览服务有限公司

联系人:王文广 叶远锋 杨丽双 梁妙庆

联系电话:0755-83461533, 83461622, 8346153

传真:0755-83461657

网址:ww.szpra.com

邮箱:szsj2004@126.com

(锐)