

PA1010 和 PTFE 的粘弹特性对滚动摩擦系数的影响^{*}

黄传辉

(徐州工程学院机电工程学院, 徐州 221008)

摘要 考察了尼龙(PA) 1010、聚四氟乙烯(PTFE)两种聚合物材料的静、动态粘弹特性,以及在干摩擦、水润滑条件下与 45[#]钢滚动接触时的摩擦行为。结果表明,PA1010 的静态蠕变量及残余变形均大于 PTFE;同样载荷条件下,PA1010 的损耗角正切 $\tan \delta$ 大于 PTFE;两种实验环境下偶副的滚动摩擦系数均随转速增加呈上升趋势,同样转速下钢/PA1010 的滚动摩擦系数大于钢/PTFE。分析表明聚合物材料的粘弹性与滚动摩擦系数密切相关。

关键词 聚合物 粘弹性 滚动摩擦系数

聚合物材料弹性模量低,有益于缓冲振动载荷,且与其它材料配副滚动时可以形成较高的粘着系数,能显著提高牵引能力,因此在工程滚动接触副中得到广泛应用^[1-4]。与其它材料相比,聚合物独特的粘弹性质对滚动接触时的应力分布及其随时间变化的函数关系具有决定性影响,因此对聚合物滚动摩擦行为的研究须注意考察材料的粘弹性质对接触过程特别是加载历史的影响机理。迄今为止,对于该问题的探索大多停留在宏观现象描述方面,缺乏深刻的机理分析,尤其是滚动速度,这一与加(卸)载历史密切相关的因素,无论在理论模型还是在实验数据方面都缺乏研究,直接影响到分析结果的准确性和合理性^[5]。

笔者考察了尼龙(PA) 1010 及聚四氟乙烯(PTFE)两种聚合物材料的静、动态粘弹特性及不同实验环境下滚动速度对滚动摩擦系数的影响,并从弹性滞后的角度探讨了聚合物材料的粘弹性对滚动摩擦行为的影响机理。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA1010: 挤出棒,宁波市鄞州岐山尼龙棒制造有限公司;

PTFE: 模压棒,扬中市通宇氟塑制品有限公司。

1.2 主要设备、仪器

多功能试验机: CETR UMT-2 型,美国摩擦实验中心;

轮廓摩擦磨损仪: LKDM-2000 型,兰州物理化学研究所;

原位纳米测试系统: Tribo Indenter 型,美国 Hysitron 公司;

滚动摩擦试验机: M-2000 型,张家口宣化泰华机械厂。

1.3 性能测试

静态蠕变实验在多功能试验机及轮廓摩擦磨损仪上进行。PA1010 及 PTFE 试件均加工成边长为 10 mm 的正方体。试件表面用 1200[#]砂纸打磨抛光至表面粗糙度为 0.4 μm 。实验载荷分别取 2、3 kg,加载后定时测量试件的压缩变形量,持续加压 50 h 后去除载荷,定时测量试件的回弹变形量;

利用原位纳米测试系统测试材料的动态粘弹特性。实验频率 70 Hz,在 0 ~750 μN 范围内依次改变载荷,测量 PA1010 和 PTFE 的损耗角正切 $\tan \delta$

滚动摩擦实验在滚动摩擦试验机上进行。以 45[#]钢环分别与 PA1010 环和 PTFE 环配副进行实验。试件均加工成外径 50 mm、内径 16 mm,厚 10 mm 的圆环状。钢环经调质处理,硬度为 HRC45,外圆表面磨削后用 1200[#]砂纸打磨抛光至表面粗糙度为 0.4 μm 。聚合物环由棒料车削而成,试件外圆表面经精车后用 1200[#]砂纸打磨抛光至表面粗糙度为 0.4 μm 。实验时钢环为主动轮,以 50、100、150、200 r/min 的 4 种转速均速转动,利用 150 N 的接触压力将 2 种聚合物环压在钢环表面上,并在摩擦力的驱动下与钢环同向转动。实验时摩擦力矩由计算机数据采集并按式(1)换算成滚动摩擦系数 k 。

$$k = FR/P \quad (1)$$

式中: F ——滚动摩擦力, N;

R ——试件半径, mm;

P ——接触压力, N。

2 结果与讨论

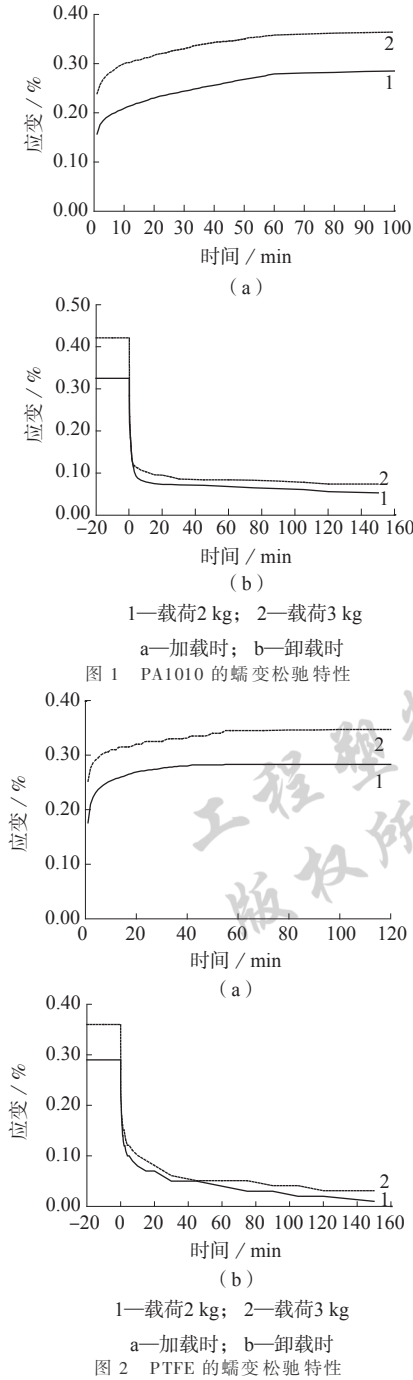
2.1 静、动态粘弹特性

PA1010 和 PTFE 的静态蠕变特性分别如图 1 和

^{*} 江苏省自然科学基金项目(BK2006031)、江苏省教育厅项目(04KJD430175)

收稿日期: 2009-12-02

图 2 所示。



由图 1 和图 2 可以看出, 在加载的瞬间, PA1010 及 PTFE 试件均发生了较大程度的应变。其后虽载荷不变, 但应变继续增加。在加载后的 3 min 之内, 试件蠕变较大, 之后蠕变量继续增长, 但增长幅度明显趋于平缓。加载 50 h 后卸载除载荷时试件有一个较大的瞬间回弹量, 并在随后的 20 min 内应变量逐渐减小, 之后随时间推移, 应变继续减小, 但减小幅度越来越小。试件最终留有残余变形

无法恢复。由实验数据经过计算可知, PA1010 的蠕变量高于 PTFE, 在 0 ~120 min 内达到 13.1 μm (载荷 2 kg) 及 12.8 μm (载荷 3 kg), 而 PTFE 为 10.7 μm (载荷 2 kg) 及 9.5 μm (载荷 3 kg)。PA1010 试件在 2 kg 载荷时的残余变形为 0.0053 mm, 3 kg 载荷时为 0.0074 mm。PTFE 试件最终残余变形量低于 PA1010, 分别为 0.001 mm (载荷 2 kg) 和 0.0031 mm (载荷 3 kg)。

图 3 示出两种聚合物的动态粘弹性测试结果。由图 3 可见, PA1010 和 PTFE 的 $\tan \delta$ 均随试验载荷的增加呈现下降的趋势。同样载荷条件下, PA1010 的 $\tan \delta$ 大于 PTFE。

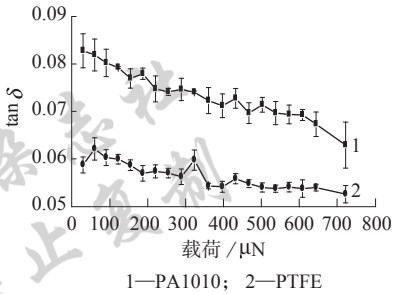


图 3 两种聚合物的动态粘弹性特性

2.2 粘弹特性对滚动摩擦行为的影响

图 4 示出滚动摩擦系数随转速增加的变化趋势。

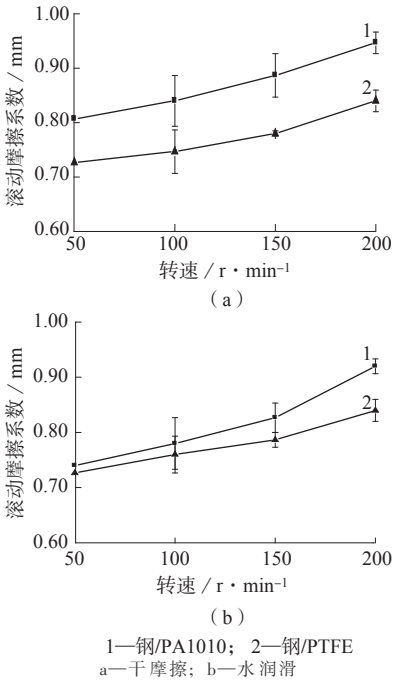


图 4 滚动摩擦系数随转速的变化趋势

由图 4a 可见, 在干摩擦状态下, 随转速的增加, 两种偶副的滚动摩擦系数均呈增大趋势。同样转速

下,钢/PA1010 的滚动摩擦系数大于钢/PTFE。当转速从 50 r/min 上升到 200 r/min 时,钢/PA1010 偶副的摩擦系数增长了 17.4%,钢/PTFE 偶副则增长了 15.5%。由图 4b 可见,水润滑时滚动摩擦系数同样随转速的增加而增大,钢/PA1010 的滚动摩擦系数大于钢/PTFE,当转速从 50 r/min 上升到 200 r/min 时,钢/PA1010 的摩擦系数增长 24.3%,钢/PTFE 则增长了 15.6%。钢/PA1010 偶副在水润滑时的滚动摩擦系数比干摩擦时平均降低了 6.25%,而钢/PTFE 偶副基本无变化。

滚动摩擦阻力主要来源于弹性滞后、粘附、微观滑移及塑性变形^[6]。聚合物材料由于粘弹性质显著,在纯滚动状态下弹性滞后是滚动摩擦力的主要来源。对滚物体在法向载荷 P 及力矩 M 作用下向前滚动时的简图如图 5 所示。

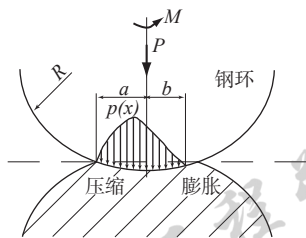


图 5 滚动摩擦时力偶平衡示意图

根据图 5,设此时接触区内的压力分布为 $p(x)$,则由弹性滞后效应引起的阻力矩可表示为:

$$M = \int_a^b xp(x) dx \quad (2)$$

由于滚动时松弛变形较压缩变形慢,所以对滚物体相分离点到中心线的距离比开始接触点到中心线的距离短,即图 5 中 $a > b$,且分离点($x = b$ 处)的位置不可能预先确定,该点的位置最后将落在接触压力降至零的点上^[6-7]。滚动过程中接触压力和变形程度主要取决于转速,当转速较慢时,与材料的松弛时间相比,单元材料通过半接触区宽度的时间较长,粘弹性恢复明显,阻力矩趋向于零。而转速加快时,单元材料通过半接触区宽度的时间缩短,接触应力不对称现象加剧,阻力矩变大。因此随转速增加聚合物的滚动摩擦系数呈上升趋势。

同样载荷条件下 PA1010 的蠕变量及残余变形均大于 PTFE,这表明 PA1010 单元材料通过半接触

区后的回弹速率低于 PTFE。PA1010 的 $\tan \delta$ 大于 PTFE,表明其在循环载荷下耗散掉的能量较多。这些特性都使得 PA1010 滚动过程中的应变滞后应力幅度值大于 PTFE。因此,在转速相同时,PA1010 的滚动摩擦系数大于 PTFE。

钢/PA1010 偶副在水润滑时滚动摩擦系数减小,表明其滚动阻力中含有一定成分的微观滑移效应。润滑水的加入降低了接触界面的滑动摩擦系数,弱化了微观滑移效应,导致滚动摩擦系数减小。微观滑移效应的弱化使得弹性滞后效应在滚动阻力中所占比例进一步增大,此时转速对偶副滚动摩擦系数的影响更加显著。PTFE 的滑动摩擦系数小,滚动过程中微观滑移效应不明显,因此润滑水的加入对滚动摩擦行为基本无影响。

3 结论

(1) 同样载荷条件下,PA1010 的静态蠕变量及残余变形均大于 PTFE。

(2) 同样载荷条件下,PA1010 的损耗角正切 $\tan \delta$ 大于 PTFE。

(3) 干摩擦、水润滑条件下钢/PA1010 和钢/PTFE 偶副的滚动摩擦系数均随转速的增加而上升,相同实验环境下钢/PA1010 的滚动摩擦系数大于钢/PTFE。

参考文献

- [1] Derjaguin B V, Toporov Y P. Influence of adhesion on the sliding and rolling friction[J]. Progress in Surface Science, 1994, 45(1/4): 317-327.
- [2] 黄传辉,陶健,张广印,等.双弹簧、双活塞力学模型在颗粒填充聚合物复合材料粘弹性质描述中的应用研究[J].中国塑料,2009,23(6): 71-74.
- [3] Baltov A I, Nedev A G. Approach to the modelling of contact friction during rolling[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 53(3/4): 695-711.
- [4] Bower A F, Johnson K L. The influence of strain hardening on cumulative plastic deformation in rolling and sliding line contact[J]. J Mech Phys Solids, 1989, 37: 471-493.
- [5] 汪志诚.滚动摩擦机理和滚动摩擦系数[J].上海机械学院学报,1993,15(4): 35-43.
- [6] 全永昕.工程摩擦学[M].杭州:浙江大学出版社,1994.
- [7] Johnson K L.接触力学[M].徐秉业,等译.北京:高等教育出版社,1992.

EFFECTS OF PA1010 AND PTFE VISCOELASTIC CHARACTERISTICS ON ROLLING FRICTION COEFFICIENTS

Huang Chuanhui

(Department of Mechanical Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221008, China)

ABSTRACT The static and dynamic viscoelastic characteristics of PA1010 and PTFE and their friction behaviors when PA1010 and PTFE rolling contacted with 45[#] steel under the conditions of dry friction and water lubricate were studied. The results indicated that the static creep quantity and residual deformation of PA1010 were larger than those of PTFE. In the same load test conditions, loss angle tangent($\tan \delta$) of PA1010 was higher than those of PTFE. The rolling friction coefficients of the two tribopairs increased with the rotational speed increasing both in dry friction and water lubricate conditions. The rolling friction coefficient of steel/PA1010 was larger than that of steel/PTFE in same rotational speed. Analysis showed that the rolling friction coefficient was closely related with the visco-elastic characteristic of polymer.

KEYWORDS polymer, viscoelastic characteristic, rolling friction coefficient

聚丙烯酰胺即将步入黄金发展期

聚丙烯酰胺是全球消费量较大、应用较广泛的合成类水溶性高分子化合物,素有“百业助剂”之称,广泛应用于石油开采、造纸、水处理、采矿、纺织、医药等行业。

2008 年全球聚丙烯酰胺消费量约 84 万 t, 其中我国消费量约 33 万 t, 约占总消费量的 38%, 是世界最大聚丙烯酰胺消费国; 美国、西欧、日本、亚太(不含我国、日本)的消费比例分别为 22%、15%、13% 和 8%。水处理和造纸业是世界(除我国)聚丙烯酰胺的主要消费领域, 合计占聚丙烯酰胺消费量的 80%。

我国聚丙烯酰胺的应用始于 20 世纪 60 年代, 最早应用于矿物精选, 90 年代后随着国内油田三次采油技术的大范围推广, 我国加强了对聚丙烯酰胺作为驱油剂的研究和生产, 目前我国三次采油用聚丙烯酰胺产能位居世界首位, 油田开采也成为目前国内聚丙烯酰胺的最大消费领域。

目前, 我国有阴离子型聚丙烯酰胺生产企业 40 多家, 产能在 1 万 t/a 以上的厂家有 6 家, 合计产能约占国内总产能的 80% 以上。国内阳离子聚丙烯酰胺的市场规模和产能均较小, 普遍存在产品单一、技术不成熟、质量不稳定等情况, 多未达到规模化生产, 产品竞争主要集中于低端市场, 高端产品还需进口。2008 年我国阳离子聚丙烯酰胺消费量约 6.91 万 t, 其中国内产量为 4.45 万 t, 进口 2.46 万 t。

近年随着国家环境保护力度的逐步加大, 聚丙烯酰胺用于污水处理剂和污泥脱水剂的市场需求量快速增长, 到 2010 年我国城市污水处理率将达 70% 以上, 水处理总量将达到 918 亿 t, 初步估算需要使用聚丙烯酰胺 11.3 万 t, 其中阳离子聚丙烯酰胺 9.8 万 t。目前, 以聚合物驱油技术为主导的化学驱三次采油技术是我国最为重要的提高石油采收率的技术之一, 预计 2010 年石油开采行业需求的阴离子聚丙烯酰胺将超过 22.5 万 t。此外, 造纸、选矿、洗煤、纺织、冶金、水泥增强剂、高吸水性树脂、粘合剂、皮革复鞣剂等行业需求也将平稳增长, 预计 2010 年我国聚丙烯酰胺的需求量将超过 40 万 t。这也将带动国内科研机构和生产型企业针对聚丙烯酰胺, 特别是阳离子型产品进行研发和生产, 预计未来几年国内阳离子型聚丙烯酰胺产品将进入黄金发展期。

(华东塑料网)

巴斯夫新型植保塑料瓶将在欧洲上市

巴斯夫为植保产品研发的新型环境友好的塑料瓶产品

即将在欧洲上市。这款根据农民需要而开发的新型包装瓶在操作简便、省时的同时, 也更加安全, 并能满足农业生产中低碳排放的要求。

结合了农民的意见, 该包装的设计最终定型为材质较轻、便于使用的塑料瓶子, 顶部中央开孔, 用新型螺帽代替了铝箔封口, 还有防止产品溢出和塑料瓶身变形的特殊设计。塑料瓶子和标签采用的是聚酰胺材料, 这比混合材料做成的产品更易于回收。巴斯夫称, 这种新型包装的倾倒及漂洗过程可节省 25% 的时间, 并且在塑料瓶原料用量减少 25% 的情况下, 保证了包装的高品质。一旦 2014 年在欧洲完全上市之后, 预计每年将减少近 2000 t 温室气体的排放。

(慧聪网)

塑料瓶包装将成药包装主角

业内专家预计, 未来 5 年, 全球药品包装市场将成为软包装的第二大经济增长点, 我国将成为增长最快的地区。到 2050 年时我国将会成为世界上最大的药品包装市场。

随着技术的不断发展和创新, 塑料瓶在医药包装市场近年来取得了显着的进步。由于塑料瓶包装产品具备独特优势, 药品包装形式也因此不断变化, 原来的纸袋包装、塑料袋包装、玻璃瓶已发展到现在的聚乙烯瓶、聚丙烯瓶、聚酯瓶、铝塑包装及条形包装, 而汽罩包装及条形复合膜包装也将成为固体剂型药品包装的主流。但同时, 环保、安全、健康等问题也随之被社会各界所关注。为适应消费者环保意识的变化, 医药包装企业已着手进行“绿色”包装的开发, 主要有: 可循环使用的绿色包装、环境调节包装、高阻隔包装、无菌包装、抗菌包装等。

(慧聪网)

南京开发出聚丙烯纳米多功能复合助剂

南京淳达科技发展有限公司研制开发的 CD-YZPP-22 聚丙烯纳米多功能复合助剂日前通过南京市科技局组织的科技成果鉴定。

新产品采用的纳米全硫化粉末丁苯橡胶及其它改性材料优化配方设计, 使改性后的聚丙烯专用料的冲击强度、低温冲击强度、负荷变形温度、洛氏硬度、断裂应变率、拉伸屈服应力等性能大幅度提高, 黄色指数明显下降。科研人员攻克了纳米橡胶弹性粒子不易分散的难题, 使产品实现了纳米效应。该产品将多种具有改性功能和性能补充功能的材料同时添加混配, 使单一的母料助剂同时具有多种改性功能。各种材料混配及添加至树脂中相容性好。

(中聚网)