

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.10.016

ABS 宏观与微观摩擦性能对比研究^{*}

雷帆,温彤,丁永峰,吴诗仁,于建明

(重庆大学材料科学与工程学院,重庆 400044)

摘要: 为了研究不同尺度下 ABS 摩擦特性的差异,分别利用直剪仪和纳米划痕仪从宏观和微观角度对比考察了 ABS 的摩擦性能。采用标准金刚石压头和自制 ABS 压头进行划痕试验,比较了对磨材料对 ABS 摩擦性能的影响。结果表明,宏观尺度下 ABS 摩擦系数随载荷的变化保持相对稳定,微观尺度下摩擦系数为变量,低负载时摩擦系数随载荷的增加小幅下降,高负载时摩擦系数随载荷的增加明显增大。比较而言,ABS 宏观摩擦系数大于微观摩擦系数,采用金刚石压头划擦后所得摩擦系数高于 ABS 压头。结论可为塑料摩擦学设计及相关数值模拟提供参考。

关键词: ABS; 直剪试验; 纳米划痕; 摩擦性能

中图分类号: TQ325.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)10-0065-04

Contrastive Study on Macro-Microscopic Tribological Properties of ABS Materials

Lei Fan, Wen Tong, Ding Yongfeng, Wu Shiren, Yu Jianming

(School of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to study the tribological properties of ABS materials under different dimensions, the tribological properties of plastic materials were investigated from the macroscopic and microscopic view by using the direct shear apparatus and nanoscratch apparatus respectively. The influences of grinding material's properties on tribological properties of ABS were compared by using diamond indenter and ABS indenter. The results showed that ABS material had a stable frictional coefficient with changes in load under macroscopic scale, and the frictional coefficient of ABS under microscopic view was variable, the friction coefficient decreased slightly when low load increased, but increased obviously when high load increased. By contrast, the macro friction coefficient of ABS was greater than micro friction coefficient. ABS had a higher friction coefficient after scratching by diamond indenter than by ABS indenter. The conclusion was useful for plastic tribological design and computer numerical simulation.

Keywords: ABS materials; direct shear test; nanoscratch; tribological properties

塑料机械零件在工程领域中的应用日益广泛,用作摩擦副时,其摩擦学问题也日趋成为关注的焦点。国内外关于塑料材料的摩擦学研究尚不成熟,目前对塑料材料摩擦的研究主要借鉴于金属材料的研究方法,并且以塑料摩擦为核心开展的计算机数值模拟中,摩擦性的引入还依赖于生产经验,关于塑料材料的摩擦性能评定尚未形成共识^[1-4]。近年来,随着微机械研究的深入以及轻量化技术的发展,以塑料微构件作为传动或传力零件在机械领域广泛应用^[4]。然而从宏观构件到微观构件,随着构件尺寸减小,许多宏观状态下的物理量可能发生变化,材料宏观物理量进入微观尺度后甚至需要重新定义^[5]。塑料宏观和微观摩擦特性必然存在差异,因而,分别从宏、微观尺度对塑料摩擦性能进行深入研究是全面认识塑料摩擦学的有效手段。此外,不同工况条件下,摩擦副中对磨材料自身性能不尽相同,因此,

对磨材料间性能的差异对摩擦性能也将产生重要影响。

因此,笔者选用工程中常用的丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS),研究和比较了其宏观和微观的摩擦性能差异,阐述了不同对磨材料对 ABS 摩擦性能的影响,以此为 ABS 等塑料零件的工程摩擦学设计提供实验依据,并以此来提高应用计算机模拟塑料摩擦学行为的精度。

1 实验部分

1.1 原材料

ABS: S702G, 南京立汉化学有限公司。

1.2 设备及仪器

纳米划痕仪: 英国 Micro Materials Lad 公司;

^{*} 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2009BB4186)

联系人: 雷帆, 硕士, 主要从事高分子材料成型研究

收稿日期: 2012-08-12

应变控制式直剪仪: ZBQ4 型, 南京宁曦土壤仪器厂;

抛光机: MDP-1 型, 莱州市蔚仪实验器材制造有限公司。

1.3 试样制备及处理

由于试样的表面平整度和光洁度以及试样上下两个表面的平行程度对于纳米压痕测试结果的准确性有很大影响, 实验前须将 ABS 颗粒制备成试样, 并进行预处理。其过程如下:

在 30℃ 烘箱中把 ABS 样品烘干, 取少量待测颗粒与酚醛树脂混合均匀, 置入镶嵌机中成型, 将成型好的试件在抛光机上依次用 75, 38, 20, 13 μm 的金相砂纸打磨, 打磨好的试件在抛光机上进行抛光处理(选用粒度为 3 μm 的金相抛光剂), 这样镶嵌于酚醛树脂中的颗粒便出现一个较光滑的平面。为防止材料在打磨抛光过程中水化, 采用无水乙醇作为打磨抛光过程的液体介质。在研磨和抛光过程中, 一些较细小的粒子可能会依附在待测颗粒表面, 这将影响到实验结果。为了消除上述影响, 把抛光后的试件放到超声波清洗器中, 用丙酮清洗 10 min, 清洗好的试件烘干待测。为了比较不同对磨材料间的摩擦性能, 按照仪器配备的金刚石压头尺寸, 自制了一支 ABS 压头进行纳米划痕实验。ABS 压头及试样如图 1 所示。



图1 ABS压头与试样

1.4 性能测试

纳米划痕实验: 采用纳米划痕仪进行测试, 分别用具有光滑圆锥顶尖的金刚石压头和 ABS 压头在逐级增加的载荷下刻划 ABS 样品表面。实验设定 3 种额定载荷分别为 100, 1000 和 3000 mN, 水平定位平台以 10 $\mu\text{m}/\text{s}$ 匀速移动, 划痕过程中 0 ~ 50 μm 为加载阶段, 水平方向的刻划距离为 50 ~ 500 μm 。系统内置传感器自动记录压头作用在试样表面的法向力、切向力和划动距离的连续变化过程。为验证试验的重复性与可靠性, 纳米划痕进行 3 次重复测试。

直剪实验: 直剪实验采用应变控制式直剪仪,

实验装置简图如图 2 所示^[6]。整个剪切试验包括预压实、压实、剪切等过程。分别在五种不同的垂直压力(50, 100, 200, 300, 400 kPa)下施加水平力进行剪切测试, 实验参照 ASTM D6128-2000 标准^[7]进行试验, 在每组实验条件下对塑料颗粒直剪试验进行 5 次重复测试。

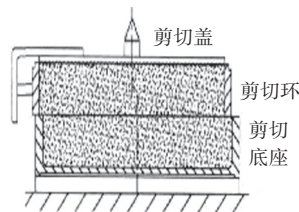
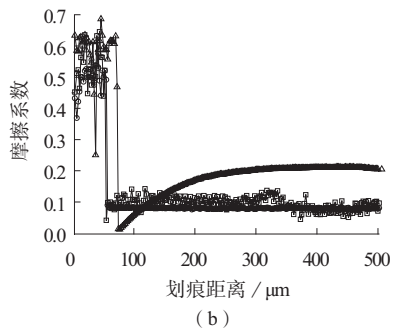
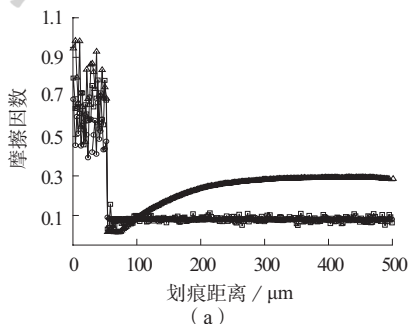


图2 直剪仪实验装置

2 结果及讨论

2.1 塑料微观摩擦性能

定义摩擦系数 = 切向力 / 法向力。在试验样品上分别施加 100, 1000, 3000 mN 的法向力, 在 500 μm 长度上摩擦系数的测试结果示于图 3。图 3a 和 3b 分别表示金刚石压头和 ABS 压头下 ABS 塑料纳米划痕测试结果。



○— $P=100\text{ mN}$; □— $P=1000\text{ mN}$; △— $P=3000\text{ mN}$
a—金刚石压头; b—ABS压头

图3 纳米划痕实验结果

由图 3 可见, 加载时由于压头与试样表面接触状态不稳定, 摩擦系数存在明显波动, 载荷增至预设值后, 摩擦系数趋于稳定。观察以上两组曲线易见, 轻载阶段($P=100\text{ mN}$)的摩擦系数约为 0.1。究其原因, 当载荷较低时, 对磨材料间处于弹

性接触状态,实际接触面积与载荷相关,当载荷恒定时,实际接触面积变化很小,因而摩擦系数趋于稳定。中载阶段($P=1000\text{ mN}$),材料作用面上产生了塑性流动,实际接触面积与作用载荷的大小成正比,摩擦系数保持稳定,与载荷的大小无关,近似为常数,但与 100 mN 时相比,略有降低。重载阶段($P=3000\text{ mN}$),材料接触面在较大载荷作用下发生形变,且塑性变形所占比例较高,易形成粘结,摩擦系数迅速增大。

对比两种压头所得实验结果,使用金刚石压头刻划样品表面时,相当于一种较硬表面在相对较软的材料上滑动,此时有两种主要的物理作用支配着这一系统的摩擦行为,即粘着作用与形变,因此该接触对产生的摩擦是由多种因数的组合引起的,主要包括接触斑点的粘着效应与相互作用发生形变时的犁沟效应。金刚石压头为理想刚体,不参与变形,发生粘着效应的面积较小,因而粘着摩擦系数较小,但由于硬峰推挤软材料时产生的犁沟阻力占摩擦力相当大的部分,其对总摩擦系数的贡献不可忽略。而对于 ABS 压头,摩擦副配对材料坚硬程度相当,并且在分子、原子结构上相同或相近,两种材料之间互溶性较大,容易形成较大实际接触面积,易于产生较强粘着效应,而塑料-塑料摩擦副间的犁沟不是弹性或塑性变形的形式,而是采取粘弹形式,这样由犁沟效应引起的摩擦力除特殊接触条件外可忽略不计。两种压头对磨条件下 ABS 塑料摩擦系数的对比如图 4 所示。由图 4 可见,综合比较两种压头产生的摩擦系数,轻载时二者摩擦系数值大致相当,且随载荷的增加小幅下降,重载时,由于犁沟效应使得金刚石压头所产生的摩擦系数略高于 ABS 压头。

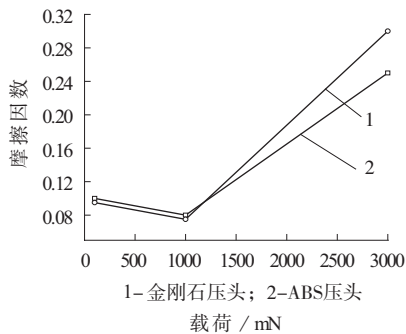


图 4 两种压头对磨条件下 ABS 摩擦系数的对比

2.2 塑料宏观摩擦性能

图 5 为直剪试验所得切向力与垂直压力关系曲线,可以看出各测试点线性关系较显著,各组实验曲线近似为一条直线。对于试验结果,一般采用作图

法来确定内摩擦角进而得出摩擦系数,但是由于各组实验受到不同因素的影响,使得最终结果存在一定差异。针对这一问题,采用最小二乘法对实验数据进行拟合优化,进而确保实验结果的可靠性,得到较理想的结果。通过直剪试验和最小二乘法拟合,可以确定 ABS 塑料宏观摩擦系数为 $0.615 \sim 0.657$,均值约为 0.64 。图 6 所示为直剪试验载荷-摩擦系数关系曲线,由图可见宏观尺度下塑料摩擦系数变化幅度很小,基本保持恒定。

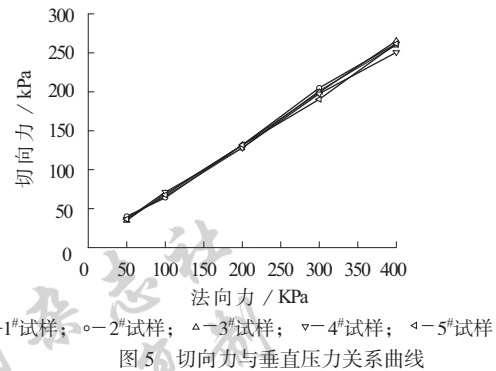


图 5 切向力与垂直压力关系曲线

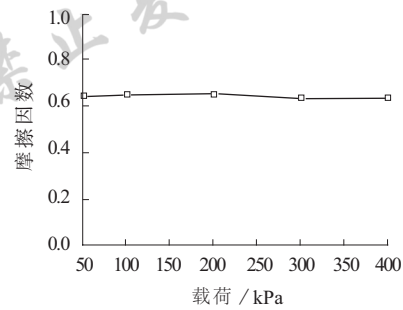


图 6 直剪试验载荷-摩擦系数关系曲线

塑料机械零件根据不同的工况条件可作为滑动或滚动摩擦副使用,而塑料粒子在剪切过程中的摩擦也涉及到滑动和滚动摩擦两种机制,因此总的摩擦系数可表示为滑动和滚动摩擦系数之和。滚动摩擦和滑动摩擦产生的机理类似,当接触体间发生相对转动或有相对转动趋势时,在接触面间将产生阻止相对转动的滚动摩擦力矩,对于接触体间的摩擦接触模型,目前一般采用弹簧、粘壶、耦合器和滑动器来模拟接触件各个方向的作用力^[7-8]。基于上述原理,粒子接触间的滑动摩擦力和滚动摩擦力矩可表示为:

$$F_{\tau} = -\text{sign}(x_{\tau}) \min(|K_{\tau} x_{\tau} - C_{\tau} \dot{x}_{\tau}|, \mu_s F_n) \quad (1)$$

$$M_r = -\text{sign}(\theta_r) \min(|K_r \theta_r - C_r \dot{\theta}_r|, \mu_r F_n) \quad (2)$$

式中: F_{τ} 为塑料粒子间的滑动摩擦力, F_n 为法向接触力, K_{τ} 为切向刚度, C_{τ} 为切向黏性系数, x_{τ} 为两接触面间的切向相对位移, $\dot{x}_{\tau}$ 是 x_{τ} 对时间的变化率, μ_s 为滑动摩擦系数, M_r 为粒子接触间的滚动摩擦力矩。

矩, K_t 为转动刚度, C_t 为转动黏性系数, θ_t 为接触面间的转动角度, $\dot{\theta}_t$ 为 θ_t 对时间的变化率, μ_r 为滚动摩擦系数。

试验所用 ABS 粒子形状不规则,可近似将其截面视为普通四边形。为定义粒子不规则程度,采用四边形最小外接圆将其包围,并沿粒子边缘垂直的方向对外圆进行切削,如图 7 所示。粒子截面外接圆半径为 D ,被切削的轴向高度为 H_i ,定义粒子不规则度指标: $\beta = H_i / D$, β 值越大粒子形状越不规则。

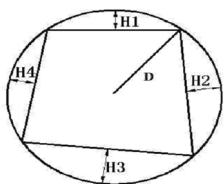


图7 粒子形状不规则的定义

当 $\beta=0$ 时,即粒子截面形状为规则圆形,在逐渐增加切向力作用下,塑料粒子受其周围粒子的约束,在滚动摩擦力矩和滑动摩擦力的共同作用下处于准静态平衡,随外力增加,粒子从静止开始运动。塑料粒子处于发生运动的临界状态时,结合颗粒的准态平衡方程及式(2),可得滚动摩擦系数计算式:

$$\mu_0 = \frac{F_t D}{2F_n} \quad (3)$$

对于实际塑料粒子,粒子间滚动摩擦系数为:

$$\mu_r = \frac{F_t(D - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 H_i)}{F_n} - \mu_0 \quad (4)$$

笔者通过研究塑料粒子开始运动的瞬间,由粒子的受力平衡方程,得到塑料粒子表面滑动和滚动摩擦的综合摩擦系数。塑料粒子截面外接圆平均直径约为 2.12 mm, $H_1 \sim H_4$ 分别约为 0.51, 0.52, 0.72, 0.75 mm。将直剪试验所得结果引入到上式并对计算结果取平均值,得到滚动摩擦系数约为 0.31, 滑动摩擦系数约为 0.33,该值与微观尺度下使用金

刚石压头所得摩擦系数值相当,且略高于 ABS 压头所测结果。

3 结论

(1) 微观尺度下, ABS 的摩擦系数随载荷的变化呈现一定波动,轻载阶段随载荷增加摩擦系数小幅下降;重载阶段随载荷增加摩擦系数迅速增大。宏观尺度下,随载荷变化, ABS 的摩擦系数保持相对稳定。

(2) 由 ABS 压头和金刚石压头对比试验可知:同质材料用作摩擦副时容易产生粘着效应,异质材料间由于软硬程度相对不等,除粘着效应外,还存在犁沟效应,用金刚石压头时 ABS 摩擦系数较高。

(3) 就滑动摩擦而言, ABS 的宏观摩擦系数与微观异质材料间摩擦系数相当,但略高于微观同质材料间的摩擦系数。

(4) 所得结论可为 ABS 等塑料摩擦学设计以及相关的计算机数值模拟提供力学参数和实验依据。

参考文献

- [1] 钟跃兰,顾大强. 塑料材料的摩擦学性能研究综述[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(11): 93-96.
- [2] 李健,秦襄培,顾卡丽,等. 塑料摩擦磨损试验方法研究[J]. 摩擦学学报, 2002, 22(4): 433-437.
- [3] 董光能,李健,谢友柏. 塑料及其复合材料的摩擦学[J]. 高分子通报, 2006, 19(7): 90-96.
- [4] 任明星,李邦盛,杨闯. 纳米压痕法测定微铸件硬度及弹性模量[J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(2): 231-235.
- [5] 韩光平,刘凯,王秀红. 微电子机械系统的尺寸效应[J]. 西安理工大学学报, 2004, 20(2): 145-148.
- [6] 张媛媛,沈湘林,汤雪美,等. 煤粉壁摩擦特性的实验与模拟[J]. 东南大学学报, 2010, 40(1): 133-135.
- [7] 孙珊珊,苏勇,季顺迎. 颗粒滚动-滑动转换机制及摩擦系数的试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(8): 110-115.
- [8] 孙珊珊,苏勇,季顺迎. 颗粒滚动-滑动转换机制及摩擦系数的试验研究[C] // 2009 中国力学学会学术大会论文集. 天津: 2009.

巴斯夫荣获供应商卓越质量奖最高荣誉

巴斯夫近日荣获长安福特马自达汽车有限公司(CFMA)授予的供应商卓越质量奖最高荣誉。

据悉,此奖是为了表彰巴斯夫在提供降噪、减震和舒适性解决方案、增强安全性与舒适度方面的杰出成就。巴斯夫从2009年开始为CFMA提供采用微孔聚氨酯弹性体(MPU)制成的缓冲块和辅助弹簧。此外,巴斯夫还向CFMA的一线供应商提供用于生产座椅部件、仪表板、方向盘、车内顶棚和地毯的聚氨酯组合料解决方案。(慧聪塑料网)

十二五期间我国塑料模具产品需求递增

十二五规划曾明确提出,未来要走绿色智能环保的新型工业化道路,对我国模具行业来说,在“以塑代钢”、“以塑代木”的大力倡导下,塑料模具产品的市场需求量将快速增长。

我国目前人均塑料消费量仅为发达国家的1/3,在提倡绿色环保发展的大背景下,未来市场需求空前广阔。“十二五”期间我国塑料模具制品行业仍将会保持高速发展,会维持年均15%的市场增长率。塑料模具的蓬勃发展将给我国模具产业的优化升级带来新的动力。(国际铸业网)