

塑料材料的摩擦学性能研究综述

钟跃兰 顾大强

(浙江大学机械工程学系, 杭州 310027)

摘要 简述了塑料材料摩擦、磨损的研究概况,详细阐述了摩擦因数、载荷、温度、速度、润滑、表面粗糙度、 pv 值和热性能等因素对塑料材料摩擦性能的影响,介绍了磨损的衡量标准和测量方法。

关键词 塑料 摩擦磨损 摩擦因数 载荷 温度 速度 pv 值 热性能

塑料机械零件在工程领域中的应用日趋广泛,用作摩擦副时,其磨损问题尚未引起人们的足够重视。国内外关于工程塑料材料的摩擦学研究尚不成熟,目前对塑料材料的摩擦、磨损与润滑的研究,也主要借鉴于金属材料摩擦、磨损与润滑的研究方法,关于塑料材料的摩擦性能评定没有形成共识。笔者在参考国内外学者研究的基础上,从塑料零件的工程摩擦学设计角度,系统地阐述了摩擦因数、载荷、速度、温度、润滑、表面粗糙度、运行时间、材料转移、润滑、对磨材料、环境条件、 pv 值、表面形貌等因素对塑料材料摩擦性能的影响。

1 影响塑料材料摩擦性能的主要因素

1.1 摩擦因数

关于摩擦的起因与机制,人们尚不清楚,但有关试验表明,不同材料的摩擦因数不是一个常数,受到很多因素的影响,至今尚无统一的理论来解释,这一结论不仅适用于金属材料,也适用于塑料材料。

全永昕等^[1]对影响材料摩擦因数的主要因素进行分析发现摩擦因数与滑动条件、材料组合和表面几何形状有关,其值随滑动过程的不同阶段而异。王承鹤等^[2-5]在研究中将塑料材料的滑动磨损过程分为三个阶段:跑合期(磨合阶段)、稳定磨损期和加速磨损期。研究表明,在跑合期和加速磨损期,摩擦因数大,磨损率高,而在稳定磨损阶段,摩擦因数较小。

关于摩擦因数的研究,大多采用实验手段,摩擦因数的测量方法与测量装置较多,国内常用的测量装置之一是盘-销式滑动摩擦磨损装置。笔者就载荷、温度、速度、润滑、表面粗糙度、滑动距离或时间与摩擦因数的关系作进一步的介绍。

(1) 载荷

当速度较低时,恒定温度下,摩擦因数随载荷的增大而减小;而恒定载荷下,摩擦因数随温度的升高而增大,在该阶段,摩擦副的接触为粘弹性状态,分子间作用力对摩擦因数影响较大。随着速度增大,材料的作用面上产生塑性流动,实际接触面积与作用载荷的大小成正比,摩擦因数保持稳定,与载荷的大小无关,近似常数;当速度超过一定值,在载荷的作用下,摩擦副迅速升温,材料自身性质发生变化,导致摩擦机理改变,摩擦因数迅速增加,有学者认为,这是材料进

入加速磨损期的标志^[2,6-7]。

何春霞^[8]用 M-2000 型磨损试验机对聚甲醛(POM)、尼龙(PA)1010 和聚四氟乙烯(PTFE)三种塑料分别与直径 40 mm 的钢轮进行滚-滑动摩擦,发现 POM 和 PTFE 的摩擦因数随载荷的增加而减小,而 PA1010 的摩擦因数-载荷的变化规律则呈 S 形震荡,对载荷很敏感。根据材料的转移-依附理论,随载荷的增加,塑料与对磨件之间的摩擦接触面积增大,增加了依附层面积,改善了摩擦条件,从而使摩擦因数降低,POM 和 PTFE 基本符合该规律。

F. Van De Velde 等^[5]应用一滑动摩擦装置,在滑动速度 5 mm/s,摩擦距离 240 mm,环境温度为 20~23℃,载荷分别为 300、825、1440 kN 的条件下,对 PA6-钢摩擦副的摩擦性能进行研究发现,PA6-钢的摩擦因数随载荷增大而减小,而载荷为 825、1440 kN 两种条件下,摩擦因数相差不大,表明 PA6 可以承受巨大的载荷,摩擦因数在重载下变化不大。

王海宝等^[9]利用 MPV-200 型摩擦磨损试验机,在转动速度为 300 r/min,运行时间为 30 min 的试验条件下,对超高分子量聚乙烯(UHMWPE)合金轴承进行摩擦试验,发现载荷为 100~600 N 时,UHMWPE 合金的摩擦因数随载荷的增加而减小。

H. Unal 等^[10]利用盘-销摩擦磨损装置,在摩擦速度 0.5 m/s,载荷分别为 20、40、60 N,相应的 pv 值为 0.35、0.7、1.05 MPa·m/s 条件下,对 PA46+30% 玻璃纤维加固(GF)、PA66、PA66+10% PTFE、PTFE+25% 铜、PTFE+17% GF、PEEK、PEEK+20% GF、聚苯硫醚(PPS)+30% GF 和脂肪族聚酮(APK)热塑性塑料进行摩擦因数-载荷测试。结果表明,这 9 种材料摩擦因数均随载荷的增大而减小,其中 APK、PA46+30% GF、PA66 的摩擦因数随载荷增加而减小的趋势尤为明显。

S. B. Habib^[11]利用一摩擦磨损实验装置,对三种名称分别为 DE20076、DE100KM、DE12017 的 POM 塑料和名称为 ZY103HSL 的 PA66 分别与 6061 铝合金组成摩擦副进行实验,载荷为 1~6 N 时,POM 和 PA66 材料的摩擦因数均随载荷的增加而减小。

有学者将塑料材料摩擦因数随载荷的变化状态分为三

个阶段:轻载,中载(载荷范围比较大)和重载阶段。轻载阶段(不同的摩擦材料副,轻载范围不同)呈现不同温度-载荷变化规律,摩擦因数也呈不同的变化趋势,恒定温度下,摩擦因数随载荷增加而减小,而恒定载荷下,摩擦因数随温度的升高而增大,该阶段摩擦副的接触为粘弹性状态,分子间的作用力对摩擦因数影响较大;中载阶段,材料的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,摩擦因数保持稳定,与载荷的大小无关,近似常数;重载阶段,在载荷的作用下,摩擦副迅速升温,材料自身性质发生变化,导致摩擦机理改变,摩擦因数迅速增大。

(2) 温度

塑料是低熔点、低导热率、高热膨胀系数的热塑性工程材料,对温度敏感,升高温度会引起塑料自身性质和力学性能等发生变化,会影响材料的摩擦磨损性能,所以升高温度对塑料的摩擦磨损至关重要,这在很多实验中均得以证明^[8],但关于温度对其影响的机制则说法不一。分子机械摩擦原理认为,温度影响摩擦因数主要体现在材料的力学性能,包括拉伸强度和应变、硬度、剪切强度等;粘着摩擦原理认为,温度改变会引起分子粘弹特性的改变,使实际接触面积发生变化。总之,温度升高会引起材料的宏观、微观结构和自身特性的变化,其对摩擦因数的影响不容忽视。

塑料的摩擦因数大多随温度升高而增大,但不呈线性关系;而有些塑料的摩擦因数则随温度下降而逐渐增大。

V. A. Bely 等^[7]在对 PA、P-68、AK-7、聚丙烯(PP)(低载)和氟塑料的研究中发现,在相同的实验条件下,PA、P-68、AK-7 和 PP 4 种材料的摩擦因数均随温度的升高而增大,而氟塑料的摩擦因数则随温度的升高而降低。全永昕等^[1]指出,塑料材料与金属材料的摩擦因数-温度变化规律有很大区别,塑料材料的散热性比较差,温度达到一定值后,表面易被熔化。V. A. Bely 等将热塑性塑料的热状态分为 3 部分:高弹态、过渡区和玻璃态。在高弹态,塑料温度高,表面光滑的塑料的摩擦机理主要是粘着磨损机制,摩擦因数随温度的升高而降低;在过渡区,摩擦因数随温度的升高而急剧增加;而在玻璃态,材料的摩擦性能则趋于相对稳定。温度对摩擦因数的影响机制和摩擦因数随温度的变化关系、原因和机理比较复杂,还需进一步深入研究。

(3) 速度

摩擦因数与速度的关系是:低速时,摩擦因数随速度的增大而减小,从摩擦机理来讲,在这一速度范围内,摩擦因数受速度的影响很小,主要受分子粘着作用的影响;中速时,速度的增大与摩擦力的变化成正比,摩擦因数基本保持稳定,不随速度的变化而改变,速度对此起主要作用;高速时,由于高速摩擦引起材料副温度急剧升高,温度对摩擦因数的作用远大于速度对其造成的影响,摩擦因数随速度的升高而急剧增大。速度范围因材料而异,没有明确的低、中、高速度范围。摩擦因数随速度的变化规律与摩擦因数随载荷的变化规律有些类似,都呈先减后增中间稳定的趋势。

V. A. Bely 等^[7]对 PA 在 10.6 N 载荷下以不同速度(v)进行试验,得出当 $-3 < \lg v < 0.3$ 时,摩擦因数随速度的增大而减小,当 $0.3 < \lg v < 1.7$ 时,摩擦因数呈上涨趋势,但基本

趋于平稳,当 $\lg v > 1.7$ 时,高速摩擦引起的材料副温度升高,导致摩擦因数急剧增加,这时材料进入加速磨损期。

王海宝等^[9]在研究 UHMWPE 合金轴承的摩擦性能时发现,在水润滑介质,100~300 r/min 条件下,由于水润滑的作用,形成了一层水-石墨润滑膜,速度对摩擦因数的影响很小,摩擦因数基本保持稳定,当速度超过 300 r/min 时,水-石墨润滑膜被破坏,摩擦因数随转速的增大而急剧增加。

葛世荣等^[12]应用环-块磨损试验机,在转速分别为 200 r/min (相当于线速度 0.52 m/s)、310、400、420、560 r/min 时,对质量分数 35% 的玻璃纤维(GF)增强 PA 复合材料进行测试,发现 PA 的摩擦因数随转速的增加而增大。滑动速度对材料摩擦学行为的影响主要是通过温度的变化来实现,滑动速度越高,摩擦界面间摩擦热的积累越快,材料的粘弹性对摩擦的影响增大,从而材料的摩擦因数增加。

F. Erol 等^[13]用 HFN 滑动轴承模拟测试装置,在滑动速度分别为 0.52、1.04、1.57、2.09 m/s,施加的载荷分别为 55、75、95、115、135、155、175 N,环境温度为 23℃,湿度为 50% 的干摩擦实验条件下,对 Ertacetal (POM-Delrin)、Ertalyte (PETP)、Ertalon 6 PLA (Cast Polyamide) 和 DEVATEKS 4 种塑料材料的摩擦性能进行研究。在所测速度范围内,Ertalyte (PETP) 的摩擦因数随速度上升呈增加趋势,当摩擦速度小于 1.57 m/s 时,摩擦因数急剧上升,Ertacetal (POM-Delrin) 的摩擦因数同样随速度的增大而增大;但当摩擦速度大于 1.57 m/s 时,摩擦因数趋于稳定,增长趋势明显变缓;Ertalon 6 PLA (Cast Polyamide) 和 Devateks 则随摩擦速度的增大呈现先增后减的趋势,以 1.57 m/s 为转折点。

Y. Liu 等^[14]应用磨损装置,借助于测力传感器、往复计数传感器、光学纤维传感器等精密器件,在速度为 5~1000 $\mu\text{m/s}$,载荷 0.5 N 条件下,对 POM-钢的摩擦因数随速度的变化进行研究,发现在水润滑和水清洗的条件下,POM 的摩擦因数均随速度的增大而减小。POM 的摩擦因数非常小,适合用在要求摩擦因数小的场合。

O. Bulent 等^[15]应用盘销实验装置,在载荷为 625 N,实验温度为 200℃,速度分别为 3.2、6.7、9.7、12.8 m/s 的干摩擦条件下,对几种填充剂、粘结剂、陶瓷含量不同的酚醛树脂材料,进行摩擦性能分析,发现 FF10 和 FF10BA10 两种材料在摩擦速度小于 6.7 m/s 时,摩擦因数随速度增大而增大,而大于 6.7 m/s 时,摩擦因数随速度增大而减小;FF10BA30 和 FF10BA40 的摩擦因数随速度的增大而减小;对于 FF10BA20 材料,当摩擦速度小于 9.7 m/s 时,摩擦因数基本恒定,而大于 9.7 m/s 时,摩擦因数随速度的增大而减小。

对于评定速度对摩擦因数的影响时,必须区别温度和速度对摩擦因数的影响。速度增加的过程往往伴随着摩擦热的产生、温度升高和材料性质的变化,因而,摩擦过程是一个多种因素共同作用的复杂过程。

(4) 润滑

润滑的方式有两种:在摩擦副间加润滑油和摩擦副材料中添加润滑剂。这两种方式对于减小摩擦副运动时的摩擦力,降低摩擦因数效果非常明显,很多有关摩擦的文献和实验均充分说明了这一点。

H. Kenneth 等^[16]应用往复式摩擦磨损试验机,对不同涂层-钢球摩擦副,在不同润滑状态下的摩擦因数进行了研究发现在钢球直径 10 mm,滑动速度 4 mm/s,载荷为 10 N 时,无论是在无涂层摩擦副,还是氢化非晶态碳膜(a-c:H)-钢球、氢化硬碳膜(a-c)、加 Ti 涂层的氢化非晶态碳膜摩擦副,在润滑条件下的摩擦因数均比干摩擦条件下小。润滑油种类不同,摩擦因数的降低程度也不同。

葛世荣等^[12]对 GF 增强 PA1010 复合材料的摩擦性能进行研究,发现在干摩擦条件下,磨损 5 min 内,摩擦因数上升较快,之后随磨损时间的增加,摩擦因数基本稳定,但出现动荡;而在水润滑和油润滑条件下,摩擦因数基本稳定。在任意时刻,润滑条件下的摩擦因数比干摩擦条件下的小,且润滑条件下的摩擦因数比较稳定。

文虎^[17]在对不同填充剂条件下 COPNA 树脂的摩擦因数的研究中得到,含有填充剂的 COPNA 树脂比无填充剂的摩擦因数低,而且摩擦因数的降低程度与所使用的填充剂的种类有很大关系。

(5) 表面粗糙度

当表面粗糙度较高时,摩擦因数随表面粗糙度的增大而增大;当粗糙度值较低时,由于受分子粘附作用的影响,摩擦因数随表面粗糙度的减小而增大。对于不同的塑料材料,能够实现最小摩擦因数的表面粗糙度值不同。

L. Zsidai 等^[18]在室温 30℃,湿度 50%,压力 0.1 MPa,试件表面温度 40℃ 的实验条件下,对 PA、PETP、POM、HD-PE、PTFE 5 种材料进行摩擦性能研究,发现随表面粗糙度的增大,PTFE 的摩擦因数基本保持稳定,不随表面粗糙度值而改变;其它 4 种材料的摩擦因数均随表面粗糙度的增大呈先减小后增加趋势,但增减程度因材料而异。实现最小摩擦因数的最佳表面粗糙度值也因材料而异。

T. Kyuichiro^[19]在滑动速度为 0.01 m/s 时,对 PTFE、HDPE、POM、LDPE、PA6 5 种塑料材料与不锈钢的配对进行摩擦实验,发现除 PTFE 的摩擦因数保持恒定外,其它几种塑料材料的摩擦因数-粗糙度关系同样符合上述规律。

(6) 滑动距离或时间

关于摩擦因数随滑动距离或时间的变化的研究较多,基本呈两种趋势:有些研究^[20-21]表明,塑料的摩擦因数随滑动距离或时间的增加而减小,最终趋于稳定;另有研究^[22-25]表明,塑料的摩擦因数随滑动距离或时间的增加而增大,最终趋于稳定。实验装置、实验条件、对磨材料等都可能对塑料的摩擦因数产生影响,所以不同实验条件下的数据不具有可比性,但它们相互之间不矛盾。

Zhang Xintao 等^[20]利用 MM-200 环-块摩擦磨损实验装置,在载荷 50 N,滑动速度 0.419 m/s 的实验条件下,对添加 PTFE 的聚砜醚酮(PPEsk)与不锈钢环进行对磨,实验表明,PPEsk 的摩擦因数随滑动时间的增加而减小。

S. ü. Bekir 等^[21]利用一滑动轴承磨损测试装置,将 PE、PA、POM、PTFE、Bakelite 5 种材料的塑料轴承与不锈钢环对磨发现,几种塑料轴承的摩擦因数均随磨损时间的延长而减小,PTFE 塑料轴承的摩擦因数在对磨 0.5 h 后趋于稳定,且摩擦因数较小,其它几种塑料的摩擦因数在 1.5~2 h 后趋于

稳定。

H. Unal 等^[22]应用销-盘摩擦磨损装置,在滑动速度 0.88 m/s,载荷 30 N 的实验条件下,对 POM、PA6、UHMWPE 3 种材料与表面处理过的不锈钢进行干摩擦,得出在开始对磨的 10 min 内,3 种塑料的摩擦因数均随滑动时间的增加而迅速增长,在 10~60 min,摩擦因数逐渐趋于稳定。

N. Guermazi 等^[23]用盘销摩擦磨损装置,在载荷 1 N,滑动速度 0.125 m/s 的实验条件下,将未用过的试样、人造海水中用过的和蒸馏水中用过的老化塑料涂层与直径 10 mm,粗糙度 0.02 μm 的钢球对磨,3 种材料的摩擦因数随时间的增加均呈先增大后平稳的趋势。

影响摩擦因数的因素很多,与摩擦因数来源有关的因素有:材料(同一类材料,不同的成型方法、加工方式、填充剂等,摩擦因数不尽相同)、试验方法、试验状态(动、静之分)、试验条件(试验时的压力、速度、温度、试件表面粗糙度、加工方法、处理方法)和对磨材料等。在做摩擦磨损测试实验时,必须是在同一测量装置上、相同的实验条件下进行,这样测得的摩擦因数数值才具有可比性。国内外众多研究表明,摩擦因数与滑动条件、材料组合和表面形貌有很大关系,它是载荷、温度、速度、润滑、表面粗糙度等因素的函数,而各个分量之间又随着个别参数而变化。这一结论广泛适用于金属、塑料等材料,但没有统一公式,具体参数因具体情况而异^[12]。

1.2 pv 值

pv 值是指作用在摩擦件投影面上的单位法向压力与相对滑动速度的乘积。王承鹤^[2]在研究中指出, pv 值是工程塑料摩擦件正常工作的一项重要指标。根据试验,塑料的最大 pv 值不是一个恒定值,在不同负荷下或速度下,最大 pv 值不同。大部分塑料在一定速度和载荷范围内,最大 pv 值随速度升高而增大;而当载荷增大时,其最大 pv 值则减小。 pv 值是综合考虑速度、载荷、温度、强度等因素的耐磨与破坏的极限值,因材料和具体环境条件而异。

Zhang Mingqiu^[26]等应用盘-销摩擦磨损实验装置,在滑动速度 1 m/s,施加载荷分别为 1、2、3、4、5、6、7、8 MPa 条件下,对聚醚醚酮(PEEK)材料的比磨损率随 pv 值的变化进行研究,当 pv 小于 4 MPa·m/s 时,磨损率基本恒定,当 pv 大于 4 MPa·m/s,磨损率随 pv 值增大而急剧增大。

P. Samyn 等^[27]在圆柱-平板摩擦磨损装置上,在两种测试规模(大规模测试范围:0.84 MPa·m/s < pv < 3.51 MPa·m/s,小规模测试范围:0.04 MPa·m/s < pv < 0.75 MPa·m/s)条件下,对 POM 均聚物的磨损率随 pv 值变化的规律做了研究,发现 POM 均聚物的磨损率随 pv 值的增大而增大。

1.3 热性能

塑料的线膨胀系数大,导热系数小,热导率低,熔点、热变形温度低,对温度很敏感,强度、变形和蠕变等物理-力学性能受温度(环境温度、摩擦副正常发热和瞬间温度升高)的影响很大。塑料的发热程度与载荷、相对速度、润滑情况以及摩擦因数等诸多因素有关,一般随温度升高,塑料的磨损率增大。

陈振华等^[28]应用 GM-2000 型高速高温环块摩擦磨损试验机,在载荷 150 N,摩擦速度 400 r/min 下摩擦 30 min,对

YM 改性树脂和 PBMI/YM 改性树脂两种材料进行热态磨损性能研究,发现两种材料的磨损率均随环境温度的升高而增大。

袁玉敏等^[29]利用 XD-MSM 型定速摩擦磨损试验机,在转速 500 r/min,测试温度分别为 100、150、200、250、300、350℃条件下,对经过不同条件处理的 GF 复合编织制动带进行摩擦性能测试实验,发现材料的磨损率均随温度的升高而增大。

摩擦热会给塑料带来很多变化,塑料与其它材料组成摩擦副时,由于其热传导率低,限制了热流向环境传导,引起配副材料严重升温,在塑料表层留下极高的温度梯度,甚至导致表层熔融。根据 WLF 方程的时温等效原理,温度升高将呈指数规律缩短塑料的使用寿命;摩擦热的另一后果是直接加速了摩擦蠕变,摩擦与蠕变的耦合影响着塑料的摩擦学性能^[30]。薛群基等^[31]指出,陶瓷材料的摩擦、磨损行为与摩擦表面热诱导会引起材料发生很多变化,如摩擦热诱导材料发生相变、化学反应和力学性能的变化,致使材料的内部结构及表面特性等发生变化,从而引起摩擦磨损特性的改变。

1.4 速度

塑料的磨损率随速度的增加而增大,但不同的塑料对速度的敏感程度不一样,同种塑料在不同的实验条件下磨损率亦不同。

H. Unal 等^[22]对 PA6、POM、UHMWPE 3 种材料的磨损性能进行研究,发现 3 种材料的磨损率均随速度的增加而增大。

G. Zhanga 等^[32]利用球-盘 CSEM 磨损试验机,在环境温度为 20℃,湿度为 70%,施加载荷为 1~9 N,速度为 0.2~1.4 m/s 条件下,将 PEEK 与直径为 6 mm 的不锈钢球进行对磨,发现当速度小于 1.1 m/s 时,磨损率均随滑动速度的增加而增大,随着速度继续增大,速度大于 1.0 m/s(载荷为 1 N 和 5 N)或速度大于 0.8 m/s(载荷为 9 N)时,磨损率随速度的增大而减小,不同载荷条件下,磨损率的增减幅度不同。

王家序等^[33]在载荷 300 N,摩擦 30 min 的实验条件下,对 UHMWPE 的摩擦性能进行研究,发现当速度小于 3 m/s 时,磨损率随速度的增加而减小,这主要是由于 UHMWPE 的表面生成了一层润滑膜,使磨损率降低;随着速度的增加,当大于 3 m/s 时,润滑膜被破坏,磨损率随速度增加而增大。

2 磨损的衡量标准及计算和测量方法

材料的磨损主要通过对磨损量和磨损率来进行测量比较,其中磨损的测量方式主要有体积磨损法、磨损深度或磨损宽度法、称重法等方式。

2.1 体积磨损法

该方法最为常用,很多研究^[20,28,33-35]中都应用了该测量方法,对于不同的测量装置和测量方法,可以对该公式进行延伸,以便测量。

对于正常磨损阶段,磨损量与负荷和滑动距离成正比,如(1)式:

$$\omega_s = \frac{W_V}{F_N \cdot L} = \frac{\Delta m}{\rho \cdot F_N \cdot L} \quad (1)$$

式中: ω_s 为比磨损率(又称磨损因子), Δm 为试件的损失质

量, ρ 为试件的密度。

2.2 磨损深度或磨痕宽度法

用磨损深度或磨痕宽度法^[5,23]进行测量时,需要在同一标记位置对试件的深度或宽度进行测量。设名义接触面积为 A_a ,磨损深度为 h ,则有公式(2):

$$h = \frac{W_V}{A_a} = K_{pvt} \quad (2)$$

2.3 称重法

用分析天平测出试验前、后试样的质量 W_1 和 W_2 ,进而求出磨损量 $W: W = W_1 - W_2$ 。

该测试法适用范围较广,尤其对于线膨胀系数大、吸水率较高的材料,因为线膨胀系数会引起磨损厚度和磨损体积不准确,但测量被测试件的质量需在实验前后尽快进行,以防材料因吸水而造成磨损量计算不准^[5]。

3 结语

关于塑料摩擦学性能的研究,目前还未形成统一的理论来指导塑料机械零件的摩擦学设计。在研究一种新的摩擦副材料在特定条件下的摩擦磨损性能时,其摩擦磨损性能由于受到多种因素的同时或交替作用,而各种因素之间又相互影响、相互制约、相互转化,因此,试验仍然是重要的研究手段和主要依据。

参考文献

- [1] 全永昕,等.摩擦磨损原理[M].杭州:浙江大学出版社,1988.
- [2] 王承鹤.塑料摩擦学——塑料的摩擦、磨损、润滑理论与实践[M].北京:机械工业出版社,1994.
- [3] 王乙潜,等.材料科学与工程,1999,17(3):35-39.
- [4] 何春霞.工程塑料应用,2002,30(2):42-44.
- [5] De Velde F V, et al. Wear, 1997, 209(1-2):106-114.
- [6] Shooter K V, et al. Proceedings of the Physical Society. Section B. 1952, 65(9):660-671.
- [7] Bely V A, et al. Friction and Wear in Polymer-Based Materials [M]. New York: Pergamon Press, 1982.
- [8] 何春霞.工程塑料应用,1997,27(6):42-44.
- [9] 王海宝,等.机械科学与技术,2004,23(1):99-104.
- [10] Unal H, et al. Applied Surface Science, 2006, 252(23):8139-8146.
- [11] Habib S B. Tribology International, 2007, 40(1):64-73.
- [12] 葛世荣,等.中国矿业大学学报,2001,30(2):114-117.
- [13] Erol F, et al. Materials and Design, 2008, 29(1):205-211.
- [14] Liu Y, et al. Wear, 2006, 261(5-6):568-577.
- [15] Bulent O, et al. Tribology International, 2007, 40(1):37-48.
- [16] Kenneth H, et al. Tribology International, 1998, 31(1-3):107-120.
- [17] 文虎.电碳,1997(1):1-9.
- [18] Zsidai L, et al. Wear, 2002, 253(5-6):673-688.
- [19] Kyuichiro T. Tribology International, 1995, 28(1):19-22.
- [20] Zhang Xintao, et al. Tribology International, 2008, 41(3):195-201.
- [21] Bekir S Ü, et al. Materials and Design, 2009, 30(7):2618-2622.
- [22] Unal H, et al. Materials and Design, 2003, 24(3):183-187.
- [23] Guermazi N, et al. Materials and Design, 2009, 30(8):3094-

- 3 104.
- [24] Mergler Y J, et al. Wear, 2004, 256(3 - 4) : 294 - 301.
- [25] Gabor K, et al. Applied Surface Science, 2009, 255(11) : 5 847 - 5 850.
- [26] Zhang Mingqiu, et al. Triology Infemafional, 1997, 30(2) : 103 - 111.
- [27] Samyn P, et al. International Journal of Mechanical Sciences, 2008, 50(9) : 1 390 - 1 403.
- [28] 陈振华, 等. 中国有色金属学报, 2007, 17(11) : 1 785 - 1 791.
- [29] 袁玉敏, 等. 工程塑料应用, 2010, 38(1) : 65 - 68.
- [30] 董光能, 等. 高分子通报, 2006(7) : 88 - 94.
- [31] 薛群基, 等. 摩擦学学报, 1999, 15(4) : 376 - 384.
- [32] Zhanga G, et al. Tribology International, 2008, 41(7) : 79 - 86.
- [33] 王家序, 等. 机械工程材料, 2002, 26(11) : 36 - 38.
- [34] Harrass M, et al. Tribology International, 2010, 43(3) : 635 - 646.
- [35] Li Changa, et al. Tribology International, 2007, 40(3) : 1 170 - 1 178.

AN REVIEW ON FRICTION BEHAVIOR OF PLASTIC MATERIALS

Zhong Yuelan, Gu Daqiang

(Department of Mechanical engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

ABSTRACT The studies on friction and wear of plastic are summarized. The influences of friction coefficient, load, temperature, velocity, lubrication, surface roughness, pv value, and thermal behavior on the friction of plastic are described. The reference point and detect methods of weight loss are introduced.

KEYWORDS plastic, friction and wear, coefficient of friction, load, temperature, velocity, pv value, thermal behavior

苏威将扩产特种塑料复合物

比利时苏威公司近日宣布,将投资 2100 万欧元在常熟市新建一个特种塑料复合物生产厂,以满足中国市场不断增长的需求。该厂将服务于中国的电子、汽车、消费品和工业

应用市场。初期将生产 Amodel 聚邻苯二甲酰胺化合物(PPA), Ixef 聚丙烯酰胺(PARA)和 Kalix(改性 PARA)材料。新厂预计在 2012 年第四季度投产,还有进一步扩能的余地,并可生产其它高性能或含氟聚合物。(中聚网)

SELON聚赛龙

高薪诚聘

聚赛龙工程塑料有限公司成立于1998年,是一家致力于从事高性能改性工程塑料及高分子新材料研发、生产和销售省级高新技术企业,公司位于广州从化聚宝工业区。拥有自己的研发中心——广州聚赛龙家电用高分子材料工程研发中心。目前公司具备年产5万吨的生产能力,形成了国内知名的“聚赛龙”品牌。

研发工程师

硕士以上学历,高分子材料专业;熟悉各类改性塑料的开发及工艺制程。

研发总监

硕士以上学历,五年以上的改性工程塑料研发管理工作经验,

汽车材料销售经理

本科以上学历,三年以上改性工程塑料销售经验,熟悉汽车用材料行业以及市场导向。

市场技术服务工程师

大专以上学历,从事三年以上改性塑料技术工作,熟悉注塑工艺及模具设计。

营销总监

本科以上学历,五年以上销售团队管理工作经验,熟悉改性塑料行业及行业市场导向。

配色工程师

大专以上学历,具有多年的工程塑料配色经验。

设备管理科长

大专以上学历,理工科专业;要有三年以上的设备管理经验,熟悉双螺杆机的维护。

从化市聚赛龙工程塑料有限公司

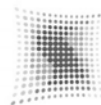
生产基地:广州从化市鳌头镇龙潭聚宝工业区

销售电话:0757-28899550 26387130

传真:0757-28871997 23617007

请将简历发送到selon888@126.com, selon_huang@126.com, 并附上个人近期相片。

招聘电话:0757-28887799 黄小姐



SELON