

文章编号: 1000-582x(2000)05-0135-04

# 超高分子量聚乙烯复合材料的摩擦磨损性能

陈战<sup>1</sup>, 王家序, 秦大同

(重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:**用 MPV-200 型摩擦磨损试验机和腐蚀磨损试验机, 对 MoS<sub>2</sub>、PTFE、石墨、玻璃纤维、碳纤维填充的超高分子量聚乙烯(UHMW-PE)塑料复合材料的摩擦磨损性能进行了较为系统的研究, 结果表明: 填充 MoS<sub>2</sub>、PTFE、石墨可降低 UHMW-PE 的摩擦系数; 而添加玻璃纤维则增大了 UHMW-PE 的摩擦系数; 添加碳纤维对 UHMW-PE 的摩擦系数几乎无影响。同时, 添加填料可使 UHMW-PE 的耐磨性显著提高, 其中石墨的减磨降摩效果最佳。重点研究了载荷、滑动速度对超高分子量聚乙烯基体 + 20% 石墨复合材料的摩擦磨损性能的影响。

**关键词:**超高分子量聚乙烯; 复合材料; 摩擦磨损;

**中图分类号:** TB 332

**文献标识码:** A

UHMW-PE 自问世以来, 仅有 30 余年。但由于该材料具有优异的物理和机械性能, 实为各行难得的既自润滑又耐磨的塑料佳品, 是一种可取代金属材料很有价值的工程塑料。

UHMW-PE 综合了所有塑料的优越性能, 耐冲击、耐磨损、耐化学腐蚀、摩擦系数低、自润滑性能好。这种塑料制品的杰出性能, 在欧美各国受到高度重视, 可以替代碳钢、不锈钢、青铜等金属材料, 用于纺织、造纸、农业、食品包装、煤矿、化工等机械领域, 有着十分重要的经济价值<sup>[1-3]</sup>。

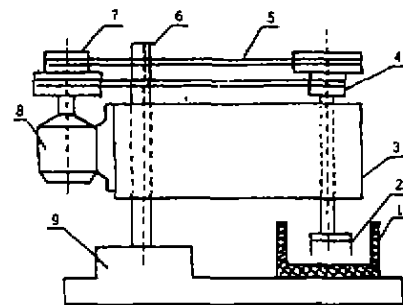
随着 UHMW-PE 应用领域的不断扩大, 人们在使用过程中也逐渐发现了它的不足之处如表面硬度低、抗磨粒磨损能力差等缺陷<sup>[4,5]</sup>。为了使它能在条件要求较高的某些场合得到应用, 须对 UHMW-PE 进行适当改性<sup>[6,7]</sup>。添加填料使 UHMW-PE 成为复合材料就是一种简单有效的方法<sup>[8]</sup>。笔者用 MPV-200 型摩擦磨损试验机对超高分子量聚乙烯复合材料进行了环(45# 钢)块摩擦磨损试验研究, 并在腐蚀磨损试验机上进行了砂浆磨损试验。总结出摩擦磨损特性, 为材料的结构和性能优化提供理论基础, 具有十分重要的实际意义。

## 1 超高分子量聚乙烯复合材料摩擦磨损试验研究

超高分子量聚乙烯的摩擦系数比其它工程塑料小, 可与聚四氟乙烯相媲美, 是理想的润滑材料。表 1 为 UHMW-PE 与其他工程塑料摩擦系数的比较。

表 1 几种工程塑料的动摩擦系数 $[\mu]$

材料名称	动摩擦系数 $[\mu]$		
	自润滑	水润滑	油润滑
超高分子量聚乙烯	0.10 - 0.22	0.05 - 0.10	0.05 - 0.08
聚四氟乙烯	0.04 - 0.25	0.04 - 0.08	0.04 - 0.05
尼龙 66	0.15 - 0.40	0.14 - 0.19	0.02 - 0.11
聚甲醛	0.15 - 0.35	0.10 - 0.20	0.05 - 0.10



1 - 砂浆槽 2 - 试件 3 - 工作台  
4 - 皮带轮 5 - 皮带 6 - 导向柱  
7 - 皮带轮 8 - 电动机 9 - 底座

图 1 砂浆磨损实验装置原理图

由于超高分子量聚乙烯的耐磨性格外突出, 磨损

收稿日期: 2001-01-09

基金项目: 教育部科学技术重点资助项目(项目编号: 99104)

作者简介: 陈战(1969-), 男, 湖南邵阳人, 重庆大学博士生。主要从事摩擦学理论及应用的研究。

量大小,用 MPV-200 型摩擦磨损试验机只能测出摩擦系数,磨损量用一般磨损试验法无法测出,必须采用砂浆磨损试验法。砂浆由 2 份水、3 份砂组成。图 1 是试验装置的原理图。

### 2 不同填料对 UHMW - PE 耐磨性的影响

在本实验中,使用了 MoS<sub>2</sub>、PTFE、石墨、玻璃纤维、碳纤维五种填料。试验结果如图 2 所示(m 为磨损量):

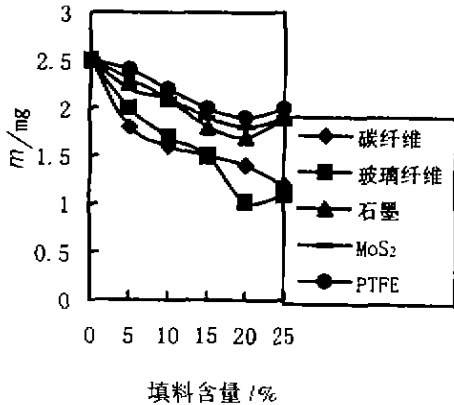


图 2 填料和含量与耐磨性的关系

图 2 是环块磨损试验时填料比例与磨损量(M)的关系曲线,可以看出当填料比例较小时,随着填料比例的增加磨损量明显降低,即耐磨性提高,这是由于适量的无机填料的加入在超高分子量聚乙烯基体中充当刚硬支撑点的作用,类似于“物理交联”,有可能阻止了砂粒的嵌入和磨削,从而提高了材料的耐磨性;当填料比例大于 5% 时磨损量降低缓慢,当填料比例大于 20% 时甚至个别出现磨损增大现象,这说明填料的比达到一定值时超高分子量聚乙烯的耐磨性不再提高,即达到饱和值,这是由于这些填料是无机物、和超高分子量聚乙烯相容性差,当填料含量超过一定值后,破坏了塑料原有的特性和基体的连续性,聚合物分子之间的距离增大,在沙粒的作用下,材料反而易于磨损。因而添加比例不宜过大,否则,耐磨性反而降低。

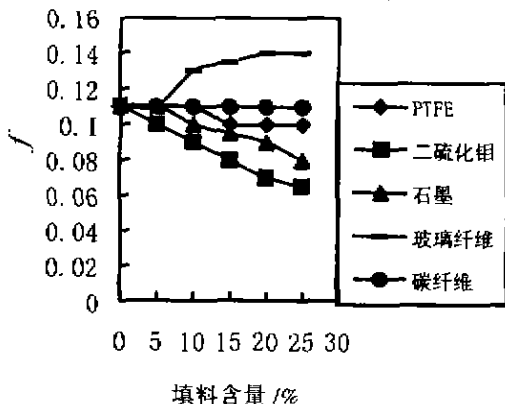


图 3 填料和含量与摩擦系数的关系

图 3 是环块试验时不同填料和不同比例与摩擦系数 f 之间的关系曲线。可以看出:添加玻璃纤维对摩擦系数影响较大,使摩擦系数增大;填加碳纤维对摩擦系数几乎没有影响;添加 MoS<sub>2</sub>、PTFE、石墨可降低摩擦系数。这是因为 MoS<sub>2</sub>、石墨是优良的固体润滑剂,从而大大降低了超高分子量聚乙烯复合材料的磨损。PTFE 本身的润滑性能优异,在复合材料的表面形成润滑膜,因而能减少 UHMW - PE 复合材料的磨损和降低摩擦系数。

从以上实验结果和理论分析可以得出:超高分子量聚乙烯基体和石墨填料构成的复合材料,同超高分子量聚乙烯相比,不仅耐磨性提高,而且摩擦系数大大降低。复合材料中石墨占 20% 的重量比例。下面对该复合材料的摩擦磨损性能进行了专门的实验研究和理论分析。

### 3 UHMW - PE 复合材料的摩擦磨损性能研究

金属材料的摩擦系数基本为常数,与载荷、相对运动速度等无关。而超高分子量聚乙烯的摩擦系数为变量,受载荷大小、滑动速度、温度、湿度等因素的影响。因此,在确定摩擦数据时必须谨慎,实验条件应尽可能与使用条件相接近。

#### 3.1 载荷对摩擦系数的影响

图 4 给出了速度为 1.5 m/s 实验条件下摩擦系数随载荷的变化曲线,由图 4 可见,复合材料的摩擦系数基本上随载荷的增大而减小。这是因为超高分子量聚乙烯的塑性,导致真实的接触面积随载荷的增加而增大,最后接近表观接触面积。达到此种饱和程度时,当外载荷再增大,摩擦力不再增加,因而摩擦系数呈现降低趋势。

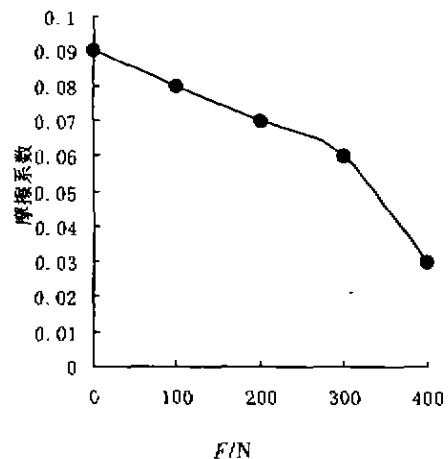


图 4 UHMW - PE 复合材料的摩擦系数随载荷的变化曲线

### 3.2 载荷对耐磨性的影响

图 5 给出了磨损量随载荷的变化曲线(速度为 1.5 m/s)。可以看出:超高分子量聚乙烯 + 20% 石墨复合材料的耐磨性相当好,并且耐磨性随载荷的变化很小。这可能是因为石墨是优良的固体润滑剂,从而大大降低了超高分子量聚乙烯复合材料的磨损。

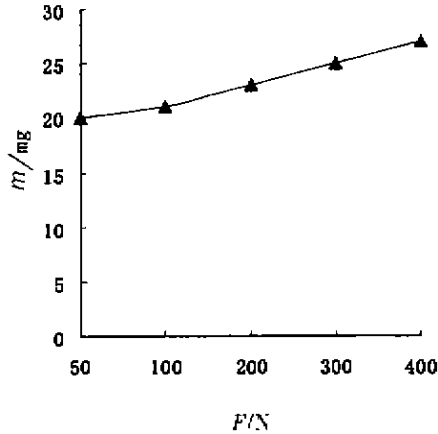


图 5 UHMW-PE 复合材料的磨损量随载荷的变化曲线

### 3.3 滑动速度和温度对摩擦系数的影响

由于超高分子量聚乙烯材料具有粘弹性,其摩擦系数对时间、速度、温度具有依赖性。在载荷为 300N 的实验条件下,超高分子量聚乙烯 + 20% 石墨复合材料的摩擦系数与滑动速度、温度的关系如图 6 ~ 图 7 所示:

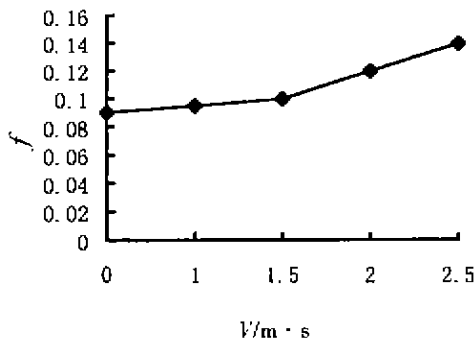


图 6 UHMW-PE 复合材料的摩擦系数随滑动速度的变化曲线

由图 6 可以看出:在较低的速度下,由于石墨的润滑作用,复合材料的摩擦系数基本上不发生变化;当速度较大时,摩擦系数随着速度的增大而呈现线性变化。

由图 7 可知:温度升高时,超高分子量聚乙烯 + 20% 石墨复合材料的摩擦系数呈现曲线变化。在玻璃化温度以下,摩擦系数随温度的升高而变大;在玻璃化温度以上,摩擦系数随温度的升高而变小;当温度很高时,超高分子量聚乙烯材料表层熔化会使摩擦系数很低。

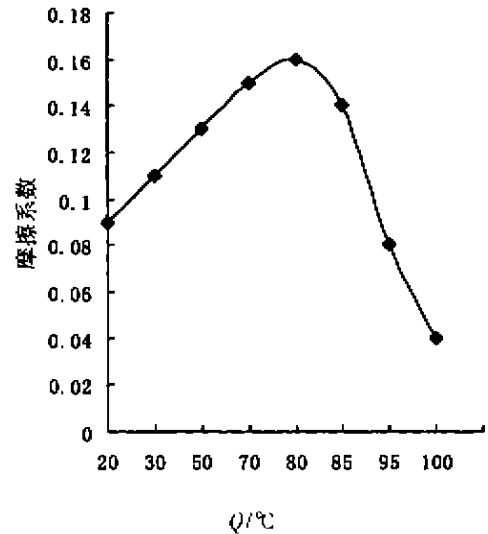


图 7 UHMW-PE 复合材料的摩擦系数随湿度的变化曲线

### 3.4 滑动速度对耐磨性的影响

图 8 给出了载荷为 300N 实验条件下的超高分子量聚乙烯 + 20% 石墨复合材料的磨损率随滑动速度的变化曲线。

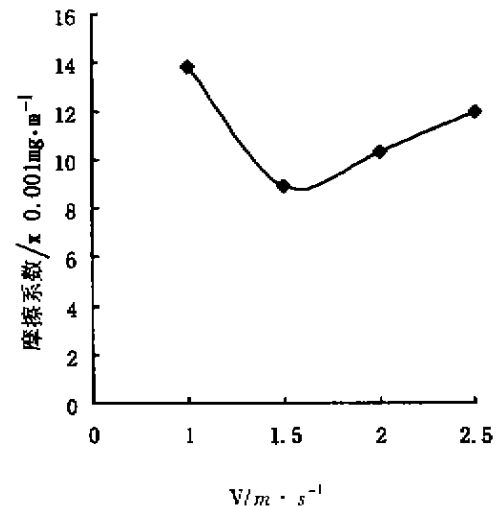


图 8 UHMW-PE 复合材料的磨损率随滑动速度的变化曲线

由图 8 可以看出:磨损率先随滑动速度的增大而减小,然后又随滑动速度的增大而增大。这是由于在较低的滑动速度下,复合材料中的石墨在超高分子量聚乙烯的表面形成优良的润滑膜,从而使得磨损率降低;当速度太大时,超高分子量聚乙烯表面的石墨润滑膜不再完全,因而磨损率增大。所以,超高分子量聚乙烯 + 20% 石墨复合材料不宜在高速的条件下应用。

## 4 结论

1) 在超高分子量聚乙烯基体中添加玻璃纤维对

摩擦系数影响较大,使摩擦系数增大;填加碳纤维对摩擦系数几乎没有影响;添加  $\text{MoS}_2$ 、PTFE、石墨可降低摩擦系数。当填料比例不超过 20%(重量比)时, $\text{MoS}_2$ 、PTFE、石墨、玻璃纤维和碳纤维等填料均可大幅度地增大超高分子量聚乙烯的耐磨性。其中石墨的减磨降摩效果最佳。

2) 对超高分子量聚乙烯 + 20% 石墨复合材料的实验研究表明:摩擦系数随载荷的增大而减小,滑动速度对摩擦系数的影响较小;该复合材料的耐磨性随载荷的变化很小,磨损率先随滑动速度的增大而减小,然后又随滑动速度的增大而增大。因而不宜在高速的条件下应用。

3) 超高分子量聚乙烯 + 20% 石墨复合材料的摩擦系数随温度的增加而呈现曲线变化。

4) 石墨优异的润滑作用,使得超高分子量聚乙烯 + 20% 石墨复合材料具有十分突出的摩擦学性能。

参考文献:

- [1] 傅林. 超高分子量聚乙烯的现状与展望[J]. 化工技术与经济, 1999, 17(1): 14-16.
- [2] 尹德荟等. 超高分子量聚乙烯的开发与应用[J]. 塑料, 1999, 28(14): 16-23.
- [3] 益民译. 国外超高分子量聚乙烯[J]. 国外塑料, 1989, (2): 27-30.
- [4] 罗风辉. 超高分子量聚乙烯改性研究的进展[J]. 塑料开发, 1993, (1): 43-45.
- [5] 胡平等. 超高分子量聚乙烯填料改性的研究[J]. 塑料, 1990, 19(4): 11-16.
- [6] MARCUS C ALLEN. The sliding wear of Ultra High Molecular Weight Polyethylene in an aqueous environment[J]. Wear, 1994, 178: 17-28.
- [7] A WANG, D C SUN, C STARK, J H DUMBLE ton. Wear mechanisms of UHMWPE in total point replacement[J]. Wear, 1995, 181-183: 241-249.
- [8] YU. M. Pleskachevsky, A. L. Zuitsev. Oxidation and its influence on low pressure Polyethylene wear[J]. Wear, 1995, 181-183: 222-229.

## Study on Friction and Wear Performance of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Plastic Composite Material

CHEN zhan, WANG Jia-xu, QIN Da-tong

(State Key Lab of Mechanical Transmission, Chongqing University Chongqing 400044, China)

**Abstract:** The friction and wear properties of Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMW-PE) composites filled with  $\text{MoS}_2$ , PTFE, carbon fiber, glass fiber and graphite are studied by using MPV-200 model friction and wear tester and caustic wear one. Experiment results show that graphite,  $\text{MoS}_2$ , PTFE reduce the friction coefficient of UHMW-PE, but glass fiber increases the friction coefficient of UHMW-PE, graphite not only reduces the friction coefficient of UHMW-PE, but also can greatly reduce the wear of UHMW-PE. At the same time, the effects of wear time, rate and load on the friction and wear characteristic of plastic alloy composite material are studied.

**Key words:** UHMW-PE; composite material; friction; wear; especially

(责任编辑 张小强)