

文章编号:1000-582X(2002)04-0026-03

# 纳米 $Al_2O_3$ 对聚乙烯工程材料性能的影响\*

王海宝<sup>1,2</sup>, 王家序<sup>2</sup>, 陈战<sup>2</sup>, 秦大同<sup>2</sup>

(1. 重庆三峡学院, 重庆万州 404000; 2. 重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:**采用压制和烧结的方法,制备了纳米  $Al_2O_3$  和超高分子量聚乙烯的复合材料。用 MPV-200 型摩擦磨损试验机和腐蚀磨损试验机研究了纳米  $Al_2O_3$  粒子对超高分子量聚乙烯工程塑料的摩擦磨损性能的影响。结果表明:纳米  $Al_2O_3$  粒子不仅显著地提高了超高分子量聚乙烯的耐磨性,而且降低了超高分子量聚乙烯的摩擦系数,同时使得超高分子量聚乙烯的硬度增大,扩大了超高分子量聚乙烯材料的应用范围。

**关键词:**纳米  $Al_2O_3$ ; 超高分子量聚乙烯; 性能; 影响

**中图分类号:** TB332

**文献标识码:** A

超高分子量聚乙烯工程塑料[UHMW-PE]具有优异的物理和机械性能<sup>[1]</sup>,它的机械强度高、硬度大、摩擦系数低,尤其是耐磨性能极佳,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>[2]</sup>。

随着 UHMW-PE 应用领域的不断扩大,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>[3]</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>[4-5]</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。纳米微粒由于尺寸小,出现了许多不同于常规固体的新奇特性,展示了广阔的应用前景;同时它也为常规的复合材料的研究增添了新的内容<sup>[6-8]</sup>。笔者用 MPV-200 型摩擦磨损试验机对超高分子量聚乙烯和纳米  $Al_2O_3$  粒子的复合材料进行了环(45#钢)块摩擦磨损试验研究,并在腐蚀磨损试验机上进行了沙浆磨损试验。总结出纳米  $Al_2O_3$  粒子对超高分子量聚乙烯(UHMW-PE)塑料材料的摩擦磨损性能的影响规律,最后用洛氏硬度计考查了  $Al_2O_3$  粒子对 UHMW-PE 硬度的影响。

## 1 试验方法

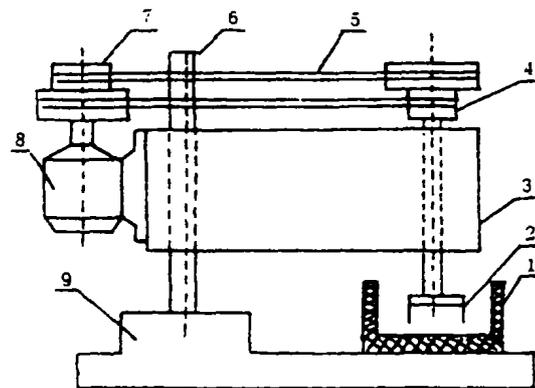
超高分子量聚乙烯的摩擦系数比其它工程塑料小,可与聚四氟乙烯相媲美,是理想的润滑材料。表 1

为 UHMW-PE 与其他工程塑料摩擦系数的比较。

表 1 几种工程塑料动摩擦系数

材料名称	动摩擦系数		
	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

由于超高分子量聚乙烯的耐磨性格外突出,用一般磨耗试验法无法测出磨耗量,必须采用沙浆磨耗试验法。沙浆由 2 份水、3 份沙组成。图 1 是试验装置的原理图。



1. 沙浆槽; 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 沙浆磨损实验装置原理图

\* 收稿日期:2001-12-20

基金项目:教育部科学技术重点资助项目(99104)

作者简介:王海宝(1966-),男,辽宁庄河人,重庆三峡学院教师,重庆大学硕士研究生。主要从事机械设计和摩擦学方面的研究与教学工作。

## 1.1 原料

UHMW-PE 粉料(北京助剂二厂生产),分子量约在 300 万,密度约 0.935。纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 米粒形颗粒,其粒度约为 20 nm,纯度大于 90%。

## 1.2 样品制备

将称量好的 UHMW-PE 粉料和纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒放入加热至  $200 \pm 5$  °C 的模具中,迅速加压至 150 MPa 左右,在此压力下烧结 2 h,然后冷却至 100 °C 以下,取出制品,自然冷却至室温,再制成各种试样。

## 1.3 测试方法

摩擦系数的测定在 MPV-200 型摩擦磨损试验机上进行,试验的条件为:速度 2.0 m/s,负荷 200 N、时间 30 min,干摩擦。每次试验前,将样品及对偶环表面用丙酮(分析纯)棉球清洗干净。磨损量的测定采用砂浆磨损试验法,在腐蚀磨损试验机上进行;用洛氏硬度计测定硬度(用 H/HRC 表示);用摆锤式冲击试验机测定冲击强度。

## 2 结果及讨论

### 2.1 摩擦系数

纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  粒子对 UHMW-PE 摩擦系数的影响。试验结果如图 2 所示。

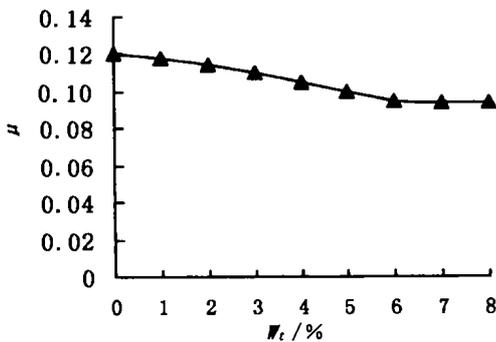


图 2 UHMW-PE 复合材料的摩擦系数与纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的关系

从图 2 可以得知:当纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的含量较低(小于 6%)时,UHMW-PE 的摩擦系数随着纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的增大而降低;当纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的含量超过 6%以后,UHMW-PE 的摩擦系数不再随纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的增大而发生变化。这是因为纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的尺寸小、比表面积大,表面原子数、表面能和表面张力随粒径的下降急剧增大,表现出小尺寸效应、表面效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应等特点。使得其表面较为光滑,在复合材料的摩擦过程中,能于 UHMW-PE 磨损表面产生富积,充当了自润滑剂的作用。因而使 UHMW-PE 的摩擦系数降低。随着纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的进一步增大,UHMW-PE 表面富积

的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒达到饱和值,UHMW-PE 的摩擦系数不再发生变化。

### 2.2 耐磨性

纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒对 UHMW-PE 耐磨性影响比较显著。试验结果如图 3 所示。

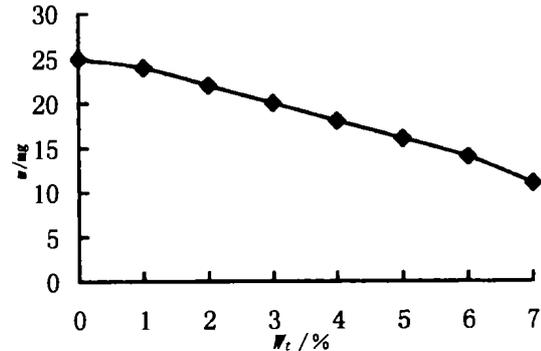


图 3 UHMW-PE 复合材料的耐磨性与纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的关系

从图 3 可以看出:纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒能大幅度地提高 UHMW-PE 的耐磨性。随着纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的增大,UHMW-PE 的磨损量迅速下降。这是因为  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的尺寸微小,能均匀地分散在 UHMW-PE 基体中,在磨损过程中, $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒一方面在 UHMW-PE 磨损表面产生富积,充当润滑剂,同时在正压力的作用下,富积的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  纳米颗粒被重新嵌入 UHMW-PE 基体中,减少了 UHMW-PE 被直接磨损的机会,从而提高了 UHMW-PE 的耐磨性。

### 2.3 硬度

从图 4 可知:UHMW-PE 复合材料的硬度随纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒比例的增大而增大。这是因为纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒具有很高的弹性模量,再加上纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒均匀地分散在 UHMW-PE 表面和基体之中,使得复合材料的弹性模量随  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒浓度的增大而显著增加,从而使 UHMW-PE 的硬度得到明显提高。

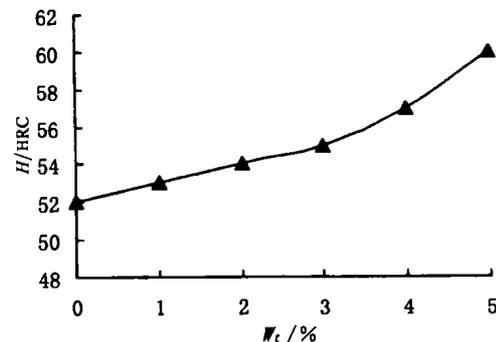


图 4 UHMW-PE 复合材料的硬度与纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的关系

### 2.4 纳米 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 对 UHMW-PE 冲击韧度的影响

从图 5 可以看出:当纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的比例小于

4%时, UHMW-PE 材料的冲击韧度随着纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒含量的增大而增大。这是因为纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的尺寸小, 均匀地填充在 UHMW-PE 基体中, 使 UHMW-PE 的致密度提高, 从而增大了耐冲击韧度; 当纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的比例大于 4% 时, UHMW-PE 的冲击韧度随着填料比例的增加而下降, 这是由于纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的表面能和表面张力很大, 过多的纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒在 UHMW-PE 基体中反而成了应力集中点, 导致冲击韧度下降。因而在添加纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒改进 UHMW-PE 的摩擦磨损性能时, 纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒比例不宜过大, 否则, 耐冲击韧度就会变低。

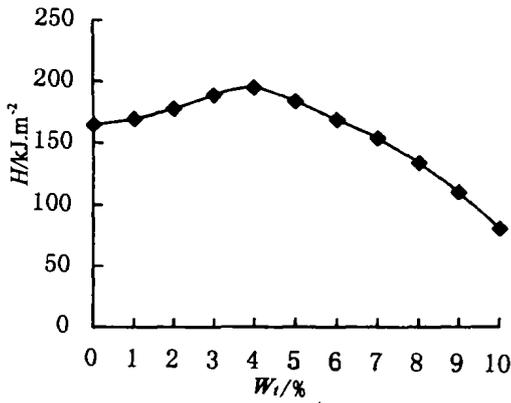


图 5 冲击韧度与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的关系

### 3 结 论

由于纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒具有一般填料无法具备的性能, 它对 UHMW-PE 工程材料具有优良的改性作用, 扩大了 UHMW-PE 工程材料的应用范围。

从前面的试验结果可以得出如下结论:

1) 纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒可以降低 UHMW-PE 工程材料的摩擦系数。

2) 随着纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒的填入, UHMW-PE 工程材料的耐磨性显著提高。

3) 纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒使 UHMW-PE 硬度增大。

4) 少量的纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒可使 UHMW-PE 的冲击韧度得到提高。

5) 纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3$  颗粒完全克服了 UHMW-PE 表面硬度低、抗磨粒磨损能力差的缺点, 扩大了 UHMW-PE 的应用范围。

### 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] 尹德芸. 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. 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] WANG A, SUN D C, STARK C, et al. Wear mechanisms of UHMWPE in total point replacement[J]. Wear, 1995, 181-183:241-24.
- [8] PLESKACHEVSKY YU M, ZUITSEV A L. Oxidation and its influence on low pressure Polyethylene wear[J]. Wear, 1995, 181-183:222-229.

## Effect of Nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$ on the Properties of Ultra High Molecular Weight Polyethylene Engineering Material

WANG Hai-bao<sup>1,2</sup>, WANG Jia-xu<sup>2</sup>, CHEN Zhan<sup>2</sup>, Qin Da-tong<sup>2</sup>

(1. Chongqing Three Gorges College, Wanzhou, Chongqing 404000, China;

2. State key Laboratory of Mechanical Transmission Chongqing University, Chongqing 400044, China )

**Abstract:** The composite material of nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  and UHMW-PE was made by the way of pressing and agglomeration. Effect of nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  on the friction, wear characteristic of Ultra High Molecular Weight Polyethylene plastic was studied by using MPV-200 model friction and wear tester and caustic wear one. At the same time, the hardness of UHMW-PE was mensurated in sclerometer. The results showed that nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  not only decreases the friction coefficient of UHMW-PE, but also greatly reduce the wear of UHMW-PE. The hardness of UHMW-PE is improved. Which possesses important theoretic significance for optimizing of structure and property of UHMW-PE material.

**Key words:** Nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; UHMW-PE; Property; Effect

(责任编辑 成孝义)