

超高分子量聚乙烯及其纳米 Al_2O_3 填充 复合材料摩擦磨损性能研究

何春霞

(南京农业大学 工学院, 江苏 南京 210032)

摘要:采用 MM-200 型摩擦磨损试验机考察了载荷及对摩偶件表面 SiC 粒度对超高分子量聚乙烯及其纳米 Al_2O_3 填充复合材料摩擦磨损性能的影响,利用扫描电子显微镜观察磨损表面形貌并分析了其磨损机理。结果表明:纳米 Al_2O_3 可以提高超高分子量聚乙烯的硬度及抗磨粒磨损性能;随着载荷的增大,超高分子量聚乙烯及纳米填充复合材料的磨损加剧;纳米 Al_2O_3 填充超高分子量聚乙烯复合材料的摩擦系数较超高分子量聚乙烯的略有增大;纳米 Al_2O_3 含量的增加有利于超高分子量聚乙烯复合材料抗磨粒磨损性能的提高;偶件表面喷涂 SiC 粒度的大小对超高分子量聚乙烯及其纳米 Al_2O_3 填充复合材料的磨损影响较大。

关键词:超高分子量聚乙烯(UHMWPE);纳米 Al_2O_3 ;填充复合材料;摩擦磨损性能

中图分类号:R318.17

文章标识码:A

文章编号:1004-0595(2002)01-0032-04

超高分子量聚乙烯(UHMWPE)是一种综合性能良好的热塑性工程塑料,具有优良的耐磨损、耐冲击、耐化学腐蚀、自润滑和吸收冲击能等特性,已广泛用于纺织、造纸、化工、矿山及机械等领域。但其表面硬度较低,抗磨粒磨损性能较差。近年来,国内外许多学者对其性能及改性进行了研究^[1~5],并获得了长足进展。本文作者研究了 UHMWPE 及其纳米 Al_2O_3 填充复合材料在不同载荷下与不同粒度的 SiC 表面喷涂层对摩时的摩擦磨损性能。

1 实验部分

1.1 试验材料

所用的 UHMWPE 由上海化工研究院生产,平均粒度 $50\text{ }\mu\text{m}$;纳米 Al_2O_3 由中国科学院泰兴纳米材料厂生产,平均粒度 $20\sim 30\text{ nm}$ 。将纳米 Al_2O_3 按质量分数 0%、5%和 10%加入 UHMWPE 中,先机械搅拌混匀后再模压成型,制成毛坯制品,再通过锯切和打磨得到待测试样。

1.2 试验方法

UHMWPE 及其复合材料摩擦磨损试验在 MM-200 型磨损试验机上进行,转速为 200 r/min ,载荷 62.5 N ,加载时间 60 s 。用感量为 0.1 mg 的光电

分析天平测定试样在不同载荷下的磨损质量损失,用 JSM-6300 型扫描电子显微镜(SEM)观察分析 UHMWPE 及其纳米 Al_2O_3 填充复合材料磨损表面形貌,用布氏硬度计测量试样的硬度。选用 3 种对摩偶件:1[#]为 45[#]钢环,其表面粗糙度 R_a 处于 $0.08\sim 0.12\text{ }\mu\text{m}$;2[#]为粒度 $75\sim 106\text{ }\mu\text{m}$ 的 SiC 喷涂处理钢环;3[#]为粒度 $355\sim 425\text{ }\mu\text{m}$ 的 SiC 喷涂处理钢环。每次试验之前,将试样和偶件表面用乙醇棉球擦洗干净,在空气中凉干,试验时间均为 30 min 。

2 结果与讨论

2.1 载荷对复合材料摩擦磨损性能的影响

图 1 给出了 UHMWPE 及其纳米 Al_2O_3 填充复合材料在不同载荷下与 2[#]偶件对摩时的摩擦磨损性能。可以看出:UHMWPE 的磨损质量损失比纳米 Al_2O_3 填充 UHMWPE 的大,且随着载荷的增加,磨损质量损失急剧增加;当载荷小于 150 N 时,含 5%和 10%纳米 Al_2O_3 的 UHMWPE 复合材料的磨损质量损失相差不大;当载荷大于 150 N 时,含 10%纳米 Al_2O_3 的 UHMWPE 复合材料呈现出较好的耐磨性;当载荷大于 200 N 时,UHMWPE 及其纳米 Al_2O_3 填充复合材料的磨损质量损失均迅速增大。

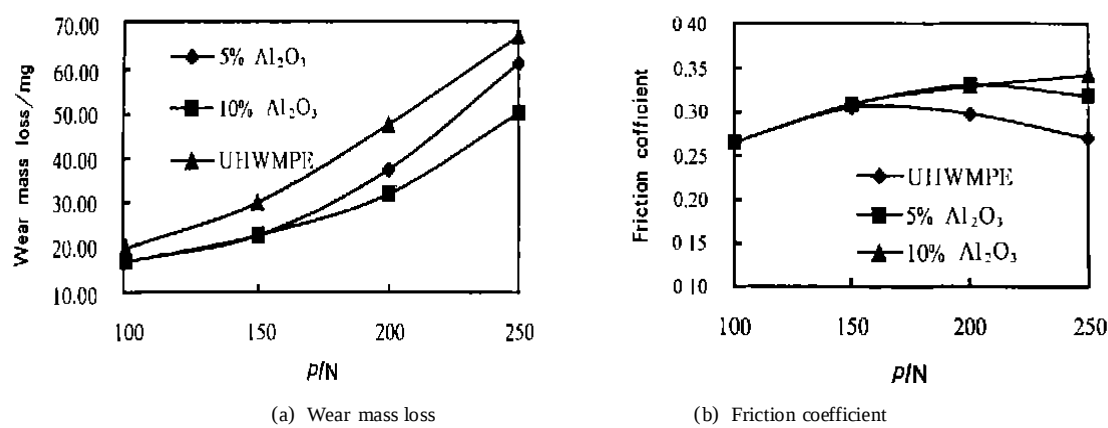


Fig 1 Variations of friction coefficient and wear mass loss of UHMWPE and nano Al₂O₃ - filled UHMWPE composites with load

图 1 UHMWPE 及其纳米 Al₂O₃ 填充复合材料的摩擦磨损性能随载荷变化的关系曲线

这说明在一定的载荷范围内填充纳米 Al₂O₃ 能起一定的承载作用,抑制犁沟的扩展、UHMWPE 的塑性变形及磨粒的嵌入和切削作用,从而提高 UHMWPE 材料的耐磨性.但当载荷较大时,纳米 Al₂O₃ 填充 UHMWPE 复合材料的抗磨粒磨损性能不佳.另外,由于对摩偶件为 SiC 喷涂的砂轮,其硬度很高.随着载荷的增大,SiC 颗粒对聚合物复合材料的犁切力增大,磨损质量损失迅速增大,而 UHMWPE 及 5 %纳米 Al₂O₃ 填充 UHMWPE 的磨损质量损失对载荷更为敏感.同时,当载荷大于 200 N 时,UHMWPE 及其纳米 Al₂O₃ 填充复合材料磨损表面都出现了不同程度的熔化现象.这是由于随着载荷的增大,摩擦磨损加剧,摩擦副接触表面温度上升所致.

从图 1(b)可见:UHMWPE 及其纳米 Al₂O₃ 填充复合材料的摩擦系数相差不大,但随着载荷的增加,UHMWPE 及其纳米 Al₂O₃ 填充复合材料摩擦系数的变化有所不同.UHMWPE 及 5 %Al₂O₃ 填充 UHMWPE 复合材料的摩擦系数随载荷的增大先略有增大然后减小,而采用 10 %纳米 Al₂O₃ 填充 UHMWPE 的摩擦系数随载荷的增加而增大.这表明纳米 Al₂O₃ 含量对 UHMWPE 复合材料的摩擦系数有一定的影响.总体而言,纳米 Al₂O₃ 填充 UHMWPE 复合材料的摩擦系数比 UHMWPE 的略高,且填充 UHMWPE 复合材料的摩擦系数随填料含量的增加而有所增大.

表 1 给出了 UHMWPE 及其复合材料的密度与硬度.可见纳米 Al₂O₃ 可提高 UHMWPE 的硬度,且

其含量越高,UHMWPE 复合材料的硬度越大.由文献[3]可知,提高复合材料的整体硬度,可增强其抵抗颗粒犁削的能力.因此,填充纳米 Al₂O₃ 可以提高 UHMWPE 的硬度和耐磨性.但与 PTFE 相比^[6],纳米 Al₂O₃ 对 UHMWPE 耐磨性的改善效果较差.

表 1 纳米 Al₂O₃/ UHMWPE 复合材料的密度与硬度
Table 1 Density and hardness of Al₂O₃/ UHMWPE composites

$\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}/\%$	Density/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Brinell hardness/ $\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$
0	0.935	19.27
5	0.969	27.60
10	1.003	29.00

2.2 SiC 粒度对复合材料摩擦磨损性能的影响

表 2 给出了 150 N 载荷下,UHMWPE 及其纳米 Al₂O₃ 填充复合材料与 3 种不同偶件对摩时的磨

表 2 UHMWPE 及其纳米 Al₂O₃ 填充复合材料与不同偶件对摩时的磨损质量损失

Table 2 Wear mass loss of UHMWPE and nanocrystalline Al₂O₃ - filled UHMWPE composites sliding against various counterparts

Material	Wear mass loss/ mg		
	Against 1 #	Against 2 #	Against 3 #
UHMWPE	0.5	29.8	113.8
UHMWPE + 5 %Al ₂ O ₃	0.4	22.5	78.2
UHMWPE + 10 %Al ₂ O ₃	0.4	22.5	64.1

损质量损失.可以看出:UHMWPE 及其复合材料的

磨损质量损失均随着偶件表面 SiC 粒度的增大而增加. 这是由于 UHMWPE 以及纳米 Al_2O_3 填充的 UHMWPE 的硬度都不高, 在载荷及高硬度的 SiC 磨粒作用下因磨粒的犁削作用而产生塑性变形, 从而导致磨损质量损失迅速增大. 与此同时, 纳米

Al_2O_3 填充 UHMWPE 复合材料的抗磨粒磨损性能优于 UHMWPE 基体, 且纳米 Al_2O_3 含量越高, 复合材料的抗磨粒磨损性能越好.

图 2 示出了 UHMWPE 及纳米 Al_2O_3 填充 UHMWPE 复合材料磨损表面形貌 SEM 照片. 可以

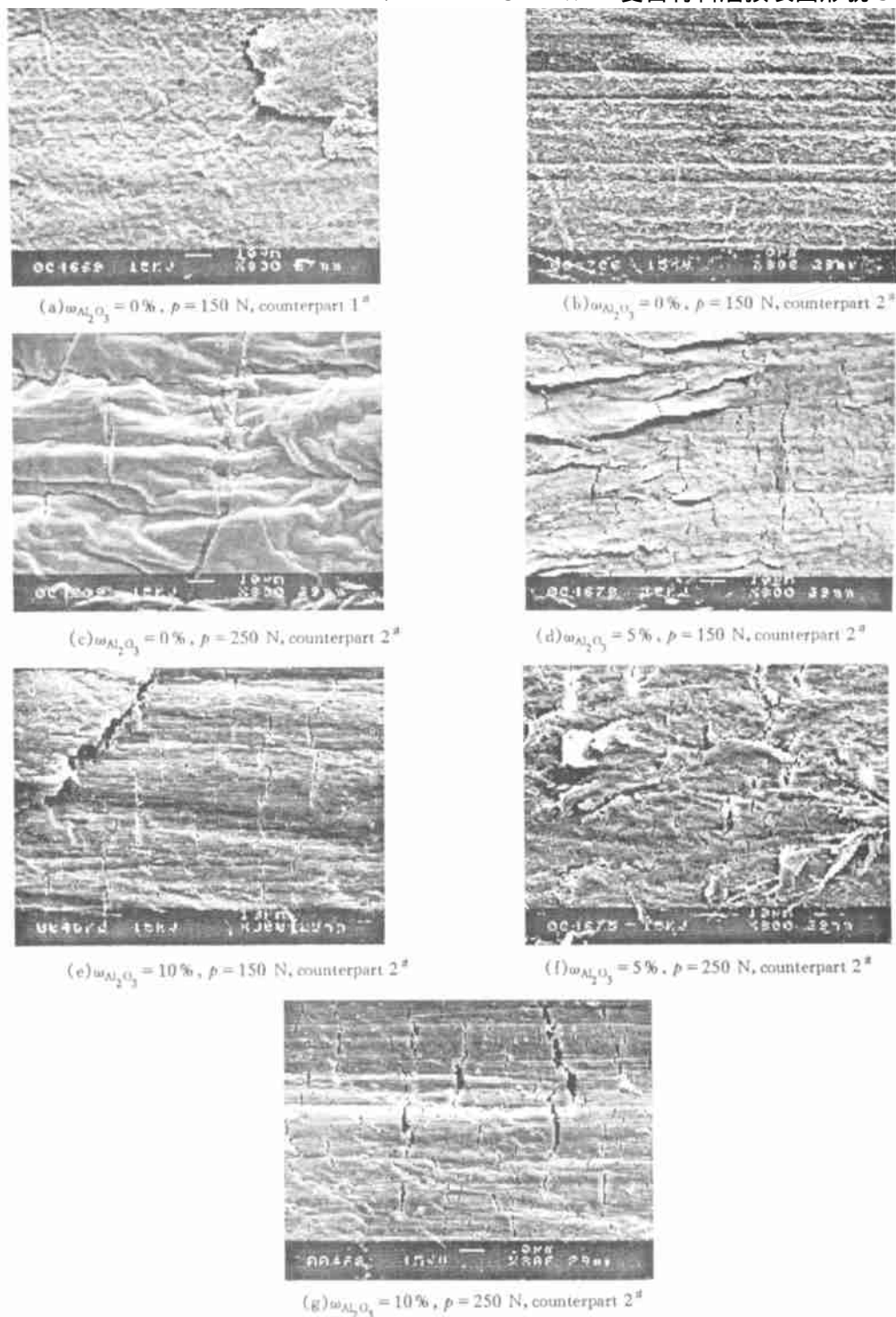


Fig 2 SEM photographs of the worn surface of UHMWPE and its composites filled with different content of Al_2O_3 (800 $\times$)

图 2 UHMWPE 及不同含量纳米 Al_2O_3 填充 UHMWPE 复合材料磨损表面形貌 SEM 照片 ($\times 800$)

看出: UHMWPE 及纳米 Al_2O_3 填充 UHMWPE 复合材料磨损表面沿摩擦滑动方向出现了明显的擦伤

痕迹. 与 45[#] 钢轮 (偶件 1[#]) 对摩时, UHMWPE 磨损表面有不规则的浅皱纹; 而与 SiC 砂轮 (偶件 2[#]) 对摩时, UHMWPE 磨损表面在沿摩擦滑动方向还可可见较大尺寸的磨痕, 特别是当载荷较高时, 其磨损表面出现了较大尺寸的花瓣状凹坑及沿摩擦滑动方向的沟谷; 纳米 Al_2O_3 填充 UHMWPE 试样的磨损表面除可见沿滑动方向磨痕外, 还出现垂直于滑动方向的纵向裂纹, 且随着载荷增大, 裂纹尺寸增大. 这可能是由于偶件表面磨粒多次滑移导致聚合物复合材料表层热熔化并引发大范围微断裂所致^[4].

3 结论

a. 填充纳米 Al_2O_3 可以提高 UHMWPE 的硬度及抗磨粒磨损性能, 且随着纳米 Al_2O_3 含量的增加, 复合材料的抗磨粒磨损性能提高. 载荷对 UHMWPE 复合材料抗磨粒磨损性能影响较大.

b. UHMWPE 及其纳米 Al_2O_3 填充复合材料与钢轮对摩时表现出良好的耐磨性. 对摩偶件表面 SiC 粒度对 UHMWPE 及其纳米 Al_2O_3 填充复合材料的磨损性能具有明显影响.

参考文献:

[1] Marcus, Allen C. Effect of fillers on the friction and wear be-

haviour of ultrahigh molecular weight polyethylene during water-lubricated reciprocating sliding wear [J]. *Wear*, 1993, 162: 1 091 - 1 102.

[2] Marcus K, Allen C. The sliding wear of ultrahigh molecular weight polyethylene in an aqueous environment [J]. *Wear*, 1994, 178: 17 - 28.

[3] Tong J (佟金), Ren L Q (任露泉), Chen Y T (陈永谭), et al. Abrasive properties and mechanism of polytetrafluoroethylene and ultra high molecular weight polyethylene (聚四氟乙烯和超高分子量聚乙烯的磨粒磨损性能与机理研究) [J]. *Tribology (摩擦学报)*. 1994, 14 (1): 65 - 70.

[4] Ren L Q (任露泉), Liu C Z (刘朝宗), Jiang M (蒋蔓), et al. Characteristics and Mechanism of abrasive wear of particle reinforced UHMWPE matrix composites (颗粒增强超高分子量聚乙烯复合材料磨粒磨损的特性与机理) [J]. *Tribology (摩擦学报)*. 1997, 17 (4): 334 - 338.

[5] Wang Y Q (王乙潜), Fan R X (樊瑞新), Huang L P (黄立平), et al. Sliding wear properties and mechanism of ultra-high molecular weight polyethylene (超高分子量聚乙烯的滑动磨损性能与机理研究) [J]. *Materials Science & Engineering (材料科学与工程)*. 1999, 17 (3): 35 - 39.

[6] He C X (何春霞), Shi L P (史丽萍), Shen H P (沈惠平). Friction and wear properties of nanocrystalline Al_2O_3 filled - PTFE composites (纳米 Al_2O_3 填充聚四氟乙烯摩擦磨损性能的研究) [J]. *Tribology (摩擦学报)*. 2000, 20 (2): 153 - 155.

Friction and Wear Properties of Ultra - high - molecular - weight - polyethylene and Its Composites Filled With Nanocrystalline Al_2O_3

HE Chun - xia

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210032, China)

Abstract: The friction and wear properties of Ultra - high - molecular - weight - polyethylene (UHMWPE) and its composites filled with nanocrystalline Al_2O_3 were investigated with an MM - 200 friction and wear tester, with an emphasis on exploring the effect of load and the counterpart surface roughness (grit size of blast SiC) on the tribological behavior. The worn surfaces of UHMWPE and its composites were examined with a scanning electron microscope, as an attempt to examine the wear mechanism of the composites. It has been found that the addition of nanocrystalline Al_2O_3 increases the hardness, wear resistance, and the friction coefficient of UHMWPE in sliding against steel with or without blast SiC coating. Increased wear mass losses of UHMWPE and its composites are observed with increasing grit size of the blast SiC coating on the counterpart surface. UHMWPE and its composites are characterized by plastic deformation and abrasive wear in sliding against the SiC - blast - coating steel ring.

Key words: UHMWPE; nanocrystalline Al_2O_3 ; filled composites; friction and wear properties

Author: HE Chun - xia, female, born in 1960, Associate Professor, E - mail: chunxiahe@163.net.