

聚丙烯和二硫化钼对超高分子量聚乙烯复合材料摩擦磨损性能的影响

刘功德, 李惠林

(四川大学 高分子材料工程国家重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要: 采用模压法制备了聚丙烯(PP)和 MoS_2 填充超高分子量聚乙烯(UHMW PE)复合材料;在MM-200型摩擦磨损试验机上考察了UHMW PE/PP/ MoS_2 复合材料的摩擦磨损性能;采用扫描电子显微镜观察分析复合材料磨损表面形貌.结果表明:单独添加 MoS_2 可以提高UHMW PE的抗磨性能,但摩擦系数增大,力学性能降低;而采用PP和 MoS_2 对UHMW PE进行改性可以显著改善加工性能;72%UHMW PE/18%PP/9% MoS_2 三元复合材料的加工性能、承载能力和长时抗磨性能明显优于UHMW PE;UHMW PE主要发生粘着磨损和疲劳磨损;而72%UHMW PE/18%PP/9% MoS_2 三元复合材料在相同试验条件下同钢对磨时仅发生轻微塑性变形.

关键词: 超高分子量聚乙烯; 聚丙烯; 二硫化钼; 复合材料; 摩擦磨损性能

中图分类号: R318.17; TH117.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-0595(2004)01-0021-04

超高分子量聚乙烯(UHMW PE)是一种性能优异的工程塑料,其耐磨、耐腐蚀、耐冲击及耐低温性能均优于普通聚乙烯及其它多种工程塑料. UHMW PE及其复合材料的摩擦磨损性能研究受到了国内外学者的广泛关注^[1~4].值得注意的是,超高分子量聚乙烯的分子量太高、加工难度大,而加入填料进一步增加了UHMW PE的加工难度;而目前UHMW PE及无机填料填充UHMW PE复合材料制备工艺仍以压制-烧结为主,加工效率很低,严重制约了其应用范围^[3~5].为了改善UHMW PE的加工性能及力学性能,人们开展了UHMW PE的共混改性研究.研究表明,采用具有较高力学强度和良好耐温性能且易于加工的聚丙烯(PP)对UHMW PE进行共混改性处理,可以显著改善其力学性能^[6].基于此,我们制备了具有优异耐磨性能且易于加工的UHMW PE复合材料,对比考察了PP和 MoS_2 对复合材料摩擦磨损性能影响.

1 实验部分

1.1 试样制备

所用UHMW PE为北京助剂二厂产品,其平均分子量为250万;聚丙烯(F401)为兰州石油化工有

限公司生产(熔体流动指数20 g/10 min);二硫化钼为成都市金堂精细化工厂产品,粒径小于30 μm .

将UHMW PE、PP和 MoS_2 按不同质量分数混合(共混前, MoS_2 经2%的KH-570硅烷型偶联剂处理),混合物经过双辊塑化(200 $^{\circ}\text{C}$, 10 min)后在平板硫化机上热压(200 $^{\circ}\text{C}$, 13.5 MPa, 5 min)制成厚度为1 mm和4 mm的片状试样;将片状试样进行机械加工制得用于力学性能和耐磨性能测试的条状试样.采用相同的热压条件制备UHMW PE和UHMW PE/ MoS_2 试样.

1.2 性能评价

在XJ-40A冲击试验机上按GB 1843-80标准测定缺口冲击强度;在Instron 4302型万能材料试验机上测定拉伸应力-应变(位伸速度100 mm/min,温度23 $^{\circ}\text{C}$);用GB/T 9342-1988洛氏硬度测定方法测定硬度(载荷588.4 N,压头直径12.7 mm,温度14 $^{\circ}\text{C}$,湿度62%).

在MM-200型摩擦磨损试验机上按GB 3960-83标准进行摩擦磨损试验,偶件为 $\phi 40$ mm的45 $^{\circ}$ 钢环(表面粗糙度 R_a 为0.015 μm).试验之前,复合材料试样和偶件钢环表面均经丙酮清洗.试验条件为:转速200 r/min、载荷100~400 N、试验时间30 min或

基金项目: 国家重点基础研究专项经费资助项目(G1999064809); 国家自然科学基金资助项目(50233010); 博士点基金资助项目.

收稿日期: 2003-03-18; 修回日期: 2003-06-21/通讯联系人李惠林, email: lihuilin5405136@sina.com.

作者简介: 李惠林,男,1954年生,教授,目前主要从事高分子共混及复合材料研究.

120 min, 室温. 针对具有不同组成的复合材料试样分别进行 2 次平行试验, 根据摩擦力矩平均值计算得到摩擦系数; 用精度为 0.02 mm 的卡尺测量复合材料试样磨痕宽度, 对每一试样进行 3 次重复测量, 求得 2 次平行试验共 6 次重复测量的平均磨痕宽度以此表示磨损量. 用 JSM-6300 型扫描电子显微镜 (SEM) 观

察复合材料试样磨损表面形貌.

2 结果与讨论

2.1 力学性能

表 1 列出了不同组成 UHMW PE 复合材料的力学性能测定结果. 可以看出, PP 使得 UHMW PE 的

表 1 不同组成的 UHMW PE 基复合材料的力学性能

Table 1 Mechanical properties of UHMW PE-based composites

Composition (UHMW PE/PP/MoS ₂) w/%	Impact strength /kJ·m ⁻²	Strength at break /MPa	Yield strength /MPa	Elongation at break /%	HRR
100/0/0	92.0*	36.1	23.0	395.3	44.8
90/10/0	103.0*	43.1	25.6	367.2	50.4
80/20/0	96.0*	35.1	26.1	342.0	60.6
91/0/9	22.3	24.6	24.6	154.1	53.2
80/16/4	57.2	26.2	23.8	315.0	64.2
77.0/15.4/7.6	40.8	25.9	24.9	257.0	63.2
74.1/14.8/11.1	36.8	26.5	24.9	299.2	68.2
71.4/14.3/14.3	30.2	25.8	25.0	258.6	62.6

*: Refers to partial fracture

*: 部分断裂

屈服应力和硬度提高, 断裂伸长率有所降低; 而 MoS₂ 使得 UHMW PE 的屈服应力稍有提高, 其它性能则不同程度地降低. 因为 PP 使 UHMW PE 的流动性能得到改善, 提高了 MoS₂ 在基体中的分散程度及界面粘着力, 故可以采用双辊塑炼机对三元共混体系 UHMW PE/PP/MoS₂ 进行塑化加工, 且三元复合材料的力学性能相当于或优于 UHMW PE/MoS₂ 二元复合材料.

2.2 聚丙烯及 MoS₂ 对 UHMW PE 耐磨性能影响

表 2 列出了不同组成的 UHMW PE 复合材料同

表 2 UHMW PE 基复合材料的摩擦磨损性能

(载荷 300 N, 试验时间 30 min)

Table 2 Friction and wear properties of UHMW PE-based composites

UHMW PE/PP/MoS ₂ w/%	Friction coefficient	Wear scar width/mm
100/0/0	0.19	6.46
76.2/19.0/4.8	0.16	5.79
72.7/18.2/9.1	0.17	5.73
69.6/17.4/13.0	0.21	6.64
66.8/16.6/16.6	0.22	6.66

钢对磨时的摩擦系数和磨斑直径. 可以看出, 当 MoS₂ 含量为 4.8% 和 9.1% 时, 共混物的摩擦系数和磨痕宽度均比纯 UHMW PE 的低; 随着 MoS₂ 含量增加, 共混物的摩擦系数和磨痕宽度有所增大. 这是由于

MoS₂ 与基体的粘结性较差, 含量过高时易从基体脱落所致.

图 1 示出了复合材料试样磨痕宽度随载荷变化

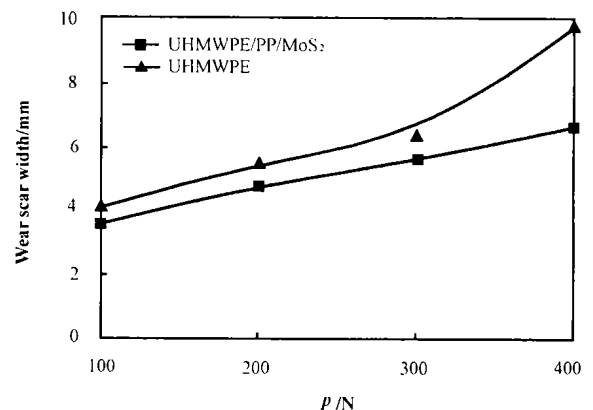


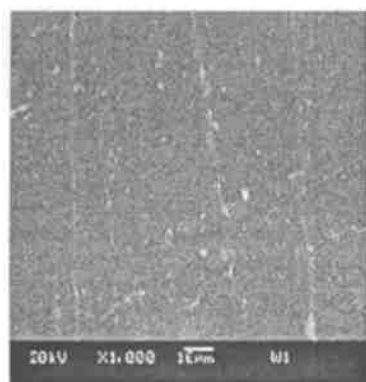
Fig 1 Variation of wear scar width with load

图 1 磨痕宽度与载荷的关系 (试验时间 30 min)

的关系曲线. 可见, 当载荷从 100 N 增加至 400 N 时, UHMW PE 试块的磨痕宽度增幅达 5.82 mm; 而 UHMW PE/PP/MoS₂ 复合材料在相同试验条件下的磨痕宽度增幅仅为 3.22 mm. 这表明 UHMW PE/PP/MoS₂ 复合材料的耐磨性能优于 UHMW PE.

2.3 复合材料磨损表面分析

图 2 示出了复合材料试样磨损表面形貌 SEM 照片 (载荷 300 N, 试验时间 30 min). 可以看出, UHMW PE 试样磨损表面存在明显的擦伤和粘着迹



(a) UHMW PE

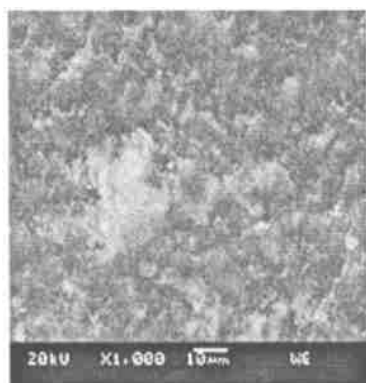
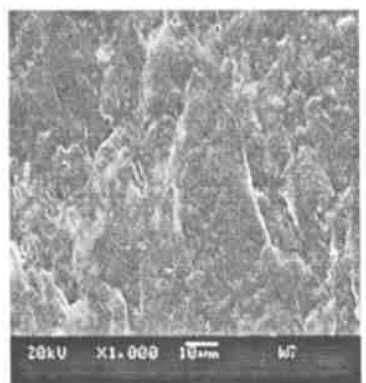
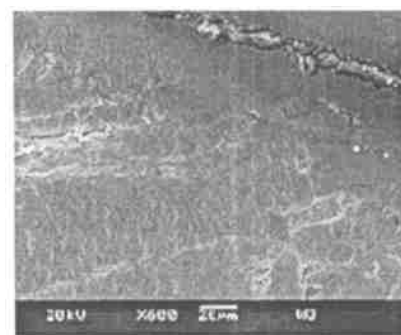
(b) 91%UHMW PE/9%M oS₂(c) 72.7%UHMW PE/18.2%PP/
9.1%M oS₂

Fig 2 SEM morphologies of worn surfaces of UHMW PE and its composites at 300 N and 30 m in

图 2 UHMW PE 及其复合材料磨损表面形貌 SEM 照片
(载荷 300 N, 试验时间 30 m in)

(a) UHMW PE

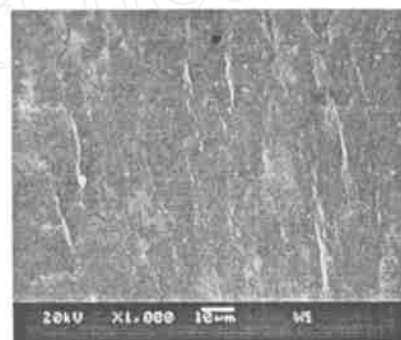
(b) 72.7%UHMW PE/18.2%PP/9.1%M oS₂

Fig 3 SEM morphologies of worn surfaces of UHMW PE and its composites at 300 N and 120 m in

图 3 UHMW PE 及其复合材料磨损表面形貌 SEM 照片
(载荷 300 N, 试验时间 120 m in)

UHMW PE 磨损表面呈现严重擦伤和粘着迹象, 并存在大量纵向裂纹[见图 3(a)], 呈现典型的疲劳磨损特征; 而 UHMW PE/PP/M oS₂ 复合材料磨损表面仅呈现轻微塑性变形和粘着迹象[见图 3(b)], 这同其较好的耐疲劳磨损性能相符。有趣的是, 延长摩擦磨损试验时间似乎有利于减轻 UHMW PE/PP/M oS₂ 三元复合材料磨损表面的塑性变形[对比图 2(c)和图 3(b)], 这可能同磨损脱落的 M oS₂ 在较长时间的反复碾压作用下在复合材料试块或偶件钢试环磨损表面富集成膜相关。

3 结论

a 按适当质量分数填充聚丙烯和二硫化钼可以使得 UHMW PE 的摩擦系数和磨斑直径有所减小; 72.7%UHMW PE/18.2%PP/9.1%M oS₂ 三元复合材料的加工性能、承载能力和长时抗磨性能明显优于 UHMW PE。

b UHMW PE 主要发生粘着磨损和疲劳磨损; 而 72.7%UHMW PE/18.2%PP/9.1%M oS₂ 三元复合材料在相同试验条件下同钢对摩时仅发生轻微塑性变形, 未出现明显的疲劳破坏特征, 这可能与 M oS₂

象[见图 2(a)]; 而 91.0%UHMW PE/9.0%M oS₂ 和 72.7%UHMW PE/18.2%PP/9.1%M oS₂ 复合材料磨损表面呈现较为明显的塑性变形迹象[见图 2(b)和(c)]。我们推测这是由于 M oS₂ 同基体的粘结性较差, 而 PP 同基体相比较易发生塑性流动所致。

图 3 示出了 UHMW PE 及 72.7%UHMW PE/18.2%PP/9.1%M oS₂ 在 300 N 下同钢对摩 120 m in 后的磨损表面形貌 SEM 照片。可以看出, 此时

在复合材料或偶件磨损表面富集成膜有关

参考文献:

- [1] Liu C Z, Ren L R, Amell R D, *et al*. Abrasive wear behavior of particle reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene composites[J]. *Wear*, 1999, 225-229: 199-204
- [2] Cooper J R, Dowson D, Fisher J. Macroscopic and microscopic wear mechanisms in ultra-high molecular weight polyethylene [J]. *Wear*, 1993, 162-164: 378-384
- [3] 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 UHMW PE matrix composites (颗粒增强超高分子量聚乙烯基复合材料磨粒磨损的特性与机理) [J]. *Tribology (摩擦学学报)*, 1997, 17 (4): 334-339
- [4] Gong G F (龚国芳), Qu J X (曲敬信), Yang H Y (杨华勇). Study on the erosion wear characteristic and mechanisms of UHMW PE/Kaolin composites (高岭土填充改性超高分子量聚乙烯的浆体冲蚀磨损特性) [J]. *Tribology (摩擦学学报)*, 2001, 21(4): 266-269
- [5] Zhong Y R (钟玉荣), Lu X H (卢鑫华). Direct application of electric heating to the compression moulding of UHMW PE (直接电加热在超高分子量聚乙烯压制工艺中应用的研究) [J]. *Plastics (塑料)*, 1991, 20 (3): 30-33
- [6] Schumann B L, Niebergall U, Severin N, *et al*. Polyethylene (HDPE)/polypropylene (PP) blends: mechanical properties, structure and morphology [J]. *Polymer*, 1998, 39 (22): 9 283-9 291

Effect of Polypropylene and Molybdenum Disulfide on Friction and Wear Behavior of Ultra High Molecular Weight Polyethylene

L I U Gong-de, L I Hui-lin

(State Key Laboratory of Polymer Materials Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The ultra-high molecular weight polyethylene (UHMW PE) composites filled with polypropylene (PP) and MoS₂ of different compositions were prepared by compression molding at elevated temperature. The friction and wear behaviors of the composites sliding against AISI-1045 steel were evaluated on an MM-200 friction and wear tester in a ring-on-block configuration. The morphologies of the worn surfaces of the UHMW PE and its composites were observed on a scanning electron microscope. It was found that the incorporation of PP was beneficial to improving the processing performance of UHMW PE. The tertiary composite 72.7%UHMW PE/18.2%PP/9.1%MoS₂ showed much better anti-fatigue ability, mechanical properties comparable to those of the UHMW PE. The UHMW PE was characterized by severe adhesion and fatigue as it slid against the steel for an extended duration, while the tertiary composite by mild plastic deformation. This was supposed to be related to the enrichment and film formation of the peeled off MoS₂ on the worn surface of the composite block or the counterpart steel ring.

Key words: UHMW PE; polypropylene; molybdenum disulfide; composite; friction and wear behavior

Author: L I Hui-lin, male, born in 1954, Professor, e-mail: lihuilin5405136@sina.com