

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.07.019

# EP/三维编织 PE-UHMW 纤维复合材料的摩擦磨损性能

李蕾

(西京学院,西安 710123)

**摘要:**以三维编织超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)纤维为增强体,环氧树脂(EP)为基体,通过树脂传递模塑工艺制备了 EP/三维编织 PE-UHMW 纤维复合材料,研究了纤维含量和载荷对复合材料摩擦系数与磨损率的影响,并采用扫描电子显微镜对复合材料磨损表面进行了分析。结果表明,随着纤维体积分含量的增加,复合材料的摩擦系数和磨损率逐渐减小;随着载荷的增大,复合材料的摩擦系数逐渐减小,但磨损率增大;复合材料的磨损机制以粘着磨损为主。

**关键词:**三维编织技术;超高分子量聚乙烯;复合材料;摩擦系数;磨损率

**中图分类号:** TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)07-0082-03

## Friction and Wear Properties of 3D Braided PE-UHMW Fiber Reinforced Epoxy Composites

Li Lei

(Xijing University, Xi'an 710123, China)

**Abstract:** 3D braided polyethylene, ultra-high molecular weight(PE-UHMW) fiber reinforced epoxy(EP) resin composites were prepared using resin transfer molding process. The effects of load and fiber volume content on friction and wear characteristics of the composites were investigated on a friction and wear tester, and the microscopic wear surface was analyzed using scanning electron microscopy. The results show that the friction coefficient and wear rate decrease with fiber volume content increasing; and with the increase of load, the friction coefficient of composites decreases, however, the wear rate of composites increases. The wear mechanisms of the EP/3D braided PE-UHMW fiber composites are mainly adhesive wear.

**Keywords:** 3D braided technique; polyethylene, ultra-high molecular weight; composite; friction coefficient; wear rate

三维编织技术是20世纪80年代兴起来的一种新型纺织技术,其目的是研制一种先进的复合材料,使其能够克服传统复合材料因层间没有纤维通过而容易分层的问题。理论上讲,三维编织物可以达到任意厚度,并且有纤维通过厚度方向,从而使三维编织复合材料是一个不分层的整体结构<sup>[1]</sup>。三维编织复合材料相对于传统复合材料具有高比强度、高比模量和优良的耐冲击、耐腐蚀以及耐磨等特性,在航空航天、军工及其它众多领域得到了广泛应用<sup>[2-6]</sup>。

超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)纤维又称高强高模聚乙烯纤维,是目前世界上比强度和比模量最高的纤维。PE-UHMW密度低( $0.97\text{ g/cm}^3$ ),具有抗辐射、耐腐蚀、耐磨等众多优异性能<sup>[7-9]</sup>。基于上述优点,采用PE-UHMW纤维可明显改善复合材料的力学性能和摩擦磨损性能。因此,近年来关于PE-UHMW纤维及其复合材料的研究受到越来越多的关注,然而,目前的研究主要集中于其力学性能及改性研究,对三维编织PE-UHMW纤维增强复合

材料的摩擦磨损性能的研究相对较少。笔者采用三维编织PE-UHMW纤维为增强体,环氧树脂(EP)为基体制备了三维编织PE-UHMW纤维增强EP复合材料,研究了复合材料的摩擦磨损性能,并探讨了其摩擦磨损机理。

### 1 实验部分

#### 1.1 原材料

PE-UHMW纤维:拉伸强度2.42 GPa,拉伸弹性模量 $\geq 86.4\text{ GPa}$ ,北京同益中特种纤维技术开发有限公司;

EP:E51,巴陵石化有限公司;

酸酐固化剂:天津合成材料研究所。

#### 1.2 仪器及设备

巴氏硬度测试仪:934-1型,美国巴卡尔公司;

摩擦磨损试验机:MM-200型,济南万臣科技

联系人:李蕾,讲师,主要从事企业管理和材料学的研究

收稿日期:2013-05-03

集团试验机分公司;

扫描电子显微镜 (SEM): S-4800 型, 日本日立公司。

### 1.3 试样制备

将 PE-UHMW 纤维编织成图 1 所示三维增强体, 本部分编织由天津工业大学先进纺织复合材料研究所协助完成。采用树脂传递模塑法将三维编织 PE-UHMW 纤维与 EP 进行复合, 制得 EP/ 三维编织 PE-UHMW 纤维复合材料, 其中纤维的体积分数分别为 30%, 35% 和 40%。

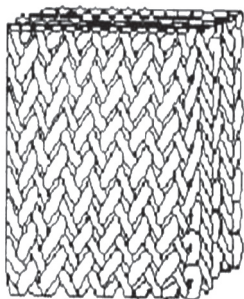


图 1 三维编织 PE-UHMW 纤维增强体简图

### 1.4 性能测试

摩擦磨损性能试验采用环-块接触方式, 试样尺寸为 30 mm × 7 mm × 6 mm。对磨钢轮外径 45 mm, 厚 10 mm, 材质为 GCr15。实验在室温下进行, 将试样放入试样槽后, 调节试样所需要的载荷 (50, 100, 150, 200, 250 N), 选择实验需要的转速, 按 GB/T 3960-1989 测试, 平行测 3 次取平均值。

硬度: 采用巴氏硬度测试仪按 GB531-2008 测试, 取三次平均值。

磨损表面形貌: 用 SEM 观察并拍照。

## 2 结果与讨论

### 2.1 纤维含量对复合材料硬度的影响

图 2 示出不同纤维含量时 EP/ 三维编织 PE-UHMW 纤维复合材料的硬度。由图 2 可看出, 随着纤维含量增加, 复合材料的硬度逐渐增大。当纤维体积分数为 30% 时, 复合材料的硬度为 130 MPa,

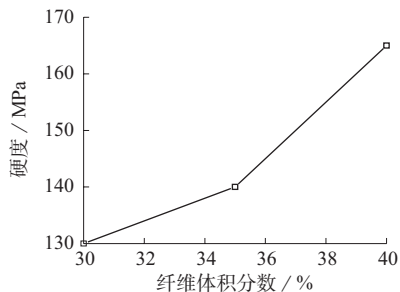


图 2 不同纤维含量时复合材料的硬度

而当纤维体积分数增加到 40% 时, 复合材料的硬度大幅度增加, 达到接近 170 MPa。

### 2.2 载荷及纤维含量对复合材料摩擦系数的影响

图 3 示出载荷对不同纤维含量 EP/ 三维编织 PE-UHMW 纤维复合材料摩擦系数的影响。由图 3 可知, 随着纤维含量的增加, 复合材料的摩擦系数逐渐减小。这是因为 PE-UHMW 纤维具有良好的润滑性, 因此其含量增加时复合材料的润滑性变好, 摩擦系数减小。此外, 随着载荷的增大, 复合材料的摩擦系数逐渐减小, 当纤维体积分数为 40% 时, 50, 100, 150, 200, 250 N 载荷下复合材料的摩擦系数分别为 0.35, 0.31, 0.26, 0.22 和 0.2。

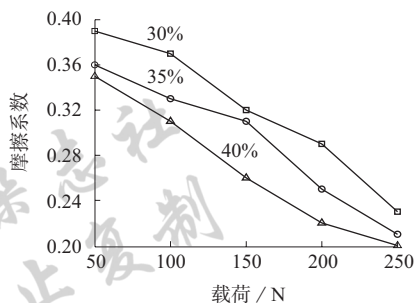


图 3 载荷对不同纤维含量复合材料摩擦系数的影响

### 2.3 载荷及纤维含量对复合材料磨损率的影响

图 4 示出载荷对不同纤维含量复合材料磨损率的影响。由图 4 可知, 随载荷的增大, 复合材料的磨损率逐渐增大, 当载荷处于 100 ~ 150 N 时, 复合材料的磨损率增加幅度较大, 当载荷大于 150 N 时, 复合材料的磨损率增加较缓, 基本趋于平衡; 随纤维含量的增大, 复合材料的磨损率逐渐减小, 纤维体积分数为 40% 时复合材料的磨损率最小。

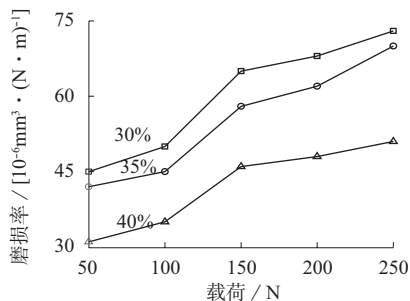


图 4 载荷对不同纤维含量复合材料磨损率的影响

### 2.4 磨损形貌及磨损机理分析

将摩擦磨损测试后的试样表面用丙酮进行超声洗涤, 洗去表面的污垢, 对其表面进行喷金处理。采用 SEM 对不同纤维含量的复合材料在载荷为 150 N 时的表面磨损进行观察, 如图 5 所示。由图 5 可知, 纤维体积分数为 30% 时复合材料的表面磨

损最为严重,可以明显看到纤维的断裂以及纤维与树脂基体之间分离。纤维体积分数为 35% 时复合材料的磨损表面相对较好,纤维的断裂相对较少。纤维体积分数为 40% 时复合材料的磨损表面最为完整,纤维没有发生断裂现象,纤维与树脂没有发生明显的分离现象。这是由于复合材料在发生磨损时,首先与钢轮接触的是纤维增强体,因此在复合材料中首先发生的是纤维增强体的破裂,由纤维的断裂情况可知复合材料的耐磨损性能。此外,复合材料的磨损性还与复合材料的硬度有关,且纤维体积分数为 40% 的复合材料硬度最大,因此耐磨性能最佳。

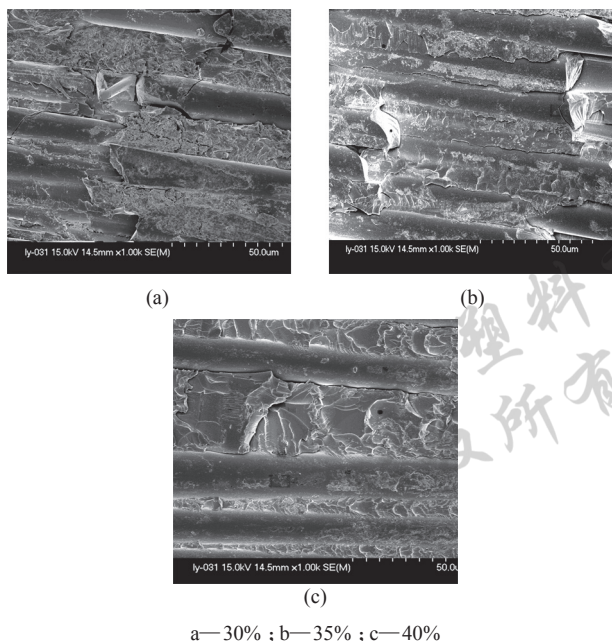


图5 不同纤维含量复合材料的磨损表面 SEM 照片

### 3 结论

(1) 随着纤维含量的增加, EP/ 三维编织 PE-UHMW 纤维复合材料的硬度增大, 其中纤维体积分数为 40% 时复合材料的硬度最大。

(2) 随着纤维含量的增加, EP/ 三维编织 PE-UHMW 纤维复合材料的摩擦系数逐渐减小; 随着载荷的增大, 复合材料的摩擦系数也逐渐减小。

(3) 随着载荷的增大, EP/ 三维编织 PE-UHMW 纤维复合材料的磨损率逐渐增大, 而随纤维含量的增大复合材料的耐磨性也逐渐增大。

### 参考文献

- [1] 李嘉禄, 肖丽华, 董孚允. 立体多向编织机构对复合材料性能的影响 [J]. 复合材料学报, 1996, 13(3): 71-75.  
Li Jialu, Xiao Lihua, Dong Fuyun. Influence of three dimensional and multi directional braid structures on the properties of composites [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 1996, 13(3): 71-75.
- [2] Chou Sh, Chen H Ch, Chen H En. Effect of weave structure on mechanical fracture behavior of three-dimensional carbon fiber fabric reinforced epoxy resin composites [J]. Compos Sci and Tech, 1992, 45: 23-35.
- [3] Hiermer T, Schmitt-Thomas Kh G, Yang Z G. Mechanical properties and failure behavior of cylindrical CFRP-implant-rods under torsion load [J]. Composites, 1998, 29A: 1453-1460.
- [4] 卢中兴, 冯志海, 寇长河, 等. 编织复合材料拉伸力学性能的研究 [J]. 复合材料学报, 1999, 16(3): 129-134.  
Lu Zixing, Feng Zhihai, Kong Changhe, et al. Studies on tensile properties of braided structural composite materials [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 1999, 16(3): 129-134.
- [5] Morris C E M. Adhesive bonding of polyethylene [J]. J Appl Polym Sci, 1970, 14: 2171-2181.
- [6] Silverstein M S, Breuer O, Dodiuk H. Surface modification of UHMWPE fibers [J]. J Appl Polym Sci, 1994(52): 1785-1795.
- [7] Jacobs O, Kazanici M, Cohn D. Creep and wear behaviour of ethylene-butene copolymers reinforced by ultra-high molecular weight polyethylene fibres [J]. Wear, 2002, 253(5/6): 618-625.
- [8] 吴越, 骆玉祥. 液态氧化法处理超高分子量聚乙烯纤维 [J]. 功能高分子学报, 1999, 12(4): 426-430.  
Wu Yue, Luo Yuxiang. Surface modification of ultrahigh molecular weight polyethylene fiber by chemical etching method [J]. Journal of Functional Polymers, 1999, 12(4): 426-430.
- [9] 何春霞. 超高分子量聚乙烯摩擦磨损特性 [J]. 工程塑料应用, 2002, 30(2): 42-44.  
He Chunxia. Friction and wear properties of ultrahigh molecular weight polyethylene [J]. Engineering Plastics Application, 2002, 30(2): 42-44.

### 东南亚工程塑料市场增长强劲

根据美国著名咨询公司弗若斯特沙利文 6 月发表的最新研究报告, 2012 年至 2018 年, 东南亚工程塑料市场的销售收入将由 23 亿美元增长至 42.9 亿美元, 复合年增长率达到 10.9%。报告认为, 这主要是由于下游汽车行业、电气产品以及电子产品的需求增长, 此外, 技术革新以及巨大的海外投资也在其中扮演着重要角色。  
(慧聪塑料网)

### 康辉石化将分期建成新型聚酯产品生产基地

辽宁营口康辉石化有限公司第二条年产 8 万 t PBT 聚酯工程塑料生产线近日投入试生产。

据了解, 营口康辉石化有限公司将分期建成年总产能 80 万 t 的新型聚酯产品生产基地, 包括 60 万 t 聚酯膜片、新型双向拉伸聚酯薄膜及 20 万 t PBT 聚酯工程塑料, 项目投产后预计年销售收入将超过 160 亿元。  
(中化报)