

改性超高分子量聚乙烯的摩擦磨损性能研究

罗玉梅

周勇 梁兵

(西南石油大学材料科学与工程学院, 成都 610500) (高分子材料工程国家重点实验室, 四川大学, 成都 610065)

摘要 通过添加聚丙烯(PP)和交联聚丙烯(PP-X)对超高分子量聚乙烯(UHMWPE)进行改性,研究了UHMWPE及其共混物的摩擦磨损性能。结果表明,在200 r/min滑动速度下,当PP或PP-X的质量分数为30%时,UHMWPE/PP的摩擦因数降至0.13,降幅达38.1%,磨痕宽度降至5.05 mm;UHMWPE/PP-X的摩擦因数降到0.12,降幅达42.9%,磨痕宽度则降至4.50 mm,UHMWPE/PP-X具有更优异的摩擦磨损性能。负载增大,UHMWPE及其共混物的摩擦磨损性能降低。磨损时间小于60 min,UHMWPE及其共混物的摩擦因数和磨痕宽度变化不大;超过60 min,摩擦因数和磨痕宽度均增大,UHMWPE/PP-X的增幅最小。高速滑动下UHMWPE/PP-X的摩擦磨损性能最高。

关键词 超高分子量聚乙烯 聚丙烯 交联 共混 摩擦磨损

为了提高超高分子量聚乙烯(UHMWPE)的摩擦磨损性能,常采用加入耐磨填料^[1-4]、化学交联^[5]等方法对其改性,但加入填料会使难加工的UHMWPE加工性能更差,自身辐照或过氧化物交联也因残存大分子自由基而影响其使用性能,且加入填料或交联处理均使UHMWPE的冲击强度、断裂伸长率等力学性能明显降低。笔者在之前的研究中采用实验室自制的交联聚丙烯(PP-X)与UHMWPE、PP共混,制得UHMWPE/PP/PP-X三元共混物,在力学性能不变的基础上改善了UHMWPE的摩擦磨损性能^[6],然后采用更大交联度的PP-X与UHMWPE共混制得UHMWPE/PP-X二元共混物,改善UHMWPE的力学性能和加工流动性能的同时,降低了UHMWPE的摩擦因数^[7]。在此基础上笔者进一步研究了UHMWPE及其共混物的摩擦磨损性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

UHMWPE: M-Ⅲ, 平均相对分子质量约为350万,北京助剂二厂;

PP: 牌号F401, 等规均聚型, 甘肃兰港石化公司;

PP-X: 交联度为53.5%, 自制。

1.2 设备及仪器

双辊开炼机: SK-160B型, 上海橡塑机械厂;

平板硫化仪: HP-63D型, 上海西玛伟力橡塑机械设备有限公司;

摩擦磨损试验机: MM-200型, 上海工业大学附属工厂。

1.3 试样制备

将UHMWPE和PP-X及其它助剂经高速混合

机混合均匀后,在严格控制辊距的双辊开炼机上,220℃下经双辊后在平板硫化机上热压(190℃, 10 MPa) 15 min制成厚度为4 mm的板材,再经机械加工得尺寸为35 mm×7 mm×4 mm的UHMWPE/PP-X试样。采用同样的方法制备UHMWPE和UHMWPE/PP试样。

1.4 性能测试

摩擦磨损性能按GB/T 3960-1983测试。

2 结果与讨论

2.1 200 r/min滑动速度下UHMWPE共混物的摩擦磨损性能

(1) PP或PP-X用量对UHMWPE共混物的摩擦磨损性能的影响

图1示出负载300 N、磨损时间30 min、滑动速度为200 r/min的条件下,PP或PP-X用量对UHMWPE的摩擦因数和磨痕宽度的影响。由图1可知,随着PP或PP-X用量的增加,共混物的摩擦因数和磨痕宽度先减小后增大。当PP或PP-X的质量分数为30%时,UHMWPE/PP的摩擦因数从纯UHMWPE的0.21降至0.13,降幅达38.1%;磨痕宽

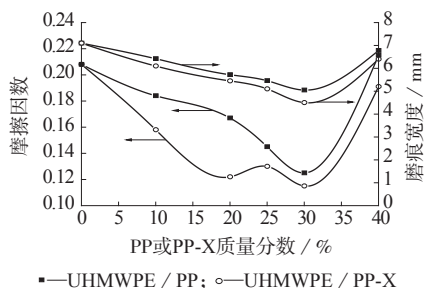


图1 PP或PP-X用量对UHMWPE共混物的摩擦磨损性能的影响

度从7.10 mm降至5.05 mm;而UHMWPE/PP-X的摩擦因数降至0.12,降幅达42.9%;磨痕宽度则降至4.50 mm。由此可见,UHMWPE/PP-X的摩擦磨损性能优于UHMWPE/PP。当PP或PP-X的质量分数大于30%时,共混物的摩擦因数和磨痕宽度都增加,表明过多的PP或PP-X会降低UHMWPE的摩擦磨损性能。PP或PP-X对UHMWPE的摩擦磨损性能有很大改善,主要是由于PP或PP-X的加入提高了UHMWPE的硬度和耐热性^[7]。

(2) 负载对UHMWPE及其共混物摩擦磨损性能的影响

图2示出磨损时间30 min、滑动速度为200 r/min、PP或PP-X质量分数为30%情况下,不同负载对UHMWPE及其共混物的摩擦因数和磨痕宽度的影响。由图2可见,负载300 N时UHMWPE、UHMWPE/PP、UHMWPE/PP-X的摩擦因数分别为0.21、0.13、0.12,负载200 N时则降至0.19、0.11、0.09。而负载300 N时UHMWPE、UHMWPE/PP、UHMWPE/PP-X的磨痕宽度分别为7.10 mm、5.05 mm、4.50 mm,负载200 N时则降至6.30 mm、3.9 mm、3.75 mm。由此可见,UHMWPE及其共混物的摩擦磨损性能对负载的依赖性较大。UHMWPE及其共混物的耐热性研究表明^[7],负载越大,材料的耐热温度越低;反之,材料的耐热温度越高。而耐热温度越低,材料的摩擦磨损性能越差。摩擦性能与载荷的关系还可以用粘着理论来解释,当载荷很小时,两表面接触处于弹性状态,此时真实接触面积与载荷的2/3次方成正比,摩擦力与真实接触面积成正比,因此摩擦因数与载荷的1/3次方成反比。当载荷较大

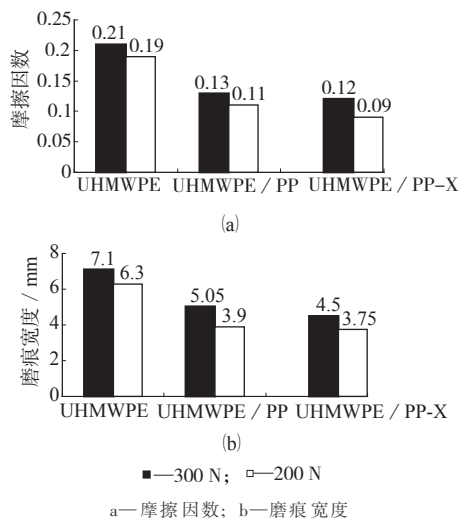


图2 不同负载时UHMWPE及其共混物的摩擦磨损性能

时,两表面接触处于弹塑性状态,真实接触面积随载荷的变化相对较小,摩擦因数随载荷增大而缓慢降低并趋于稳定;当载荷增大到使两表面的接触面积与法向载荷成正比时,摩擦因数便与载荷无关^[8]。

(3) 磨损时间对UHMWPE及其共混物摩擦磨损性能的影响

图3示出负载300 N、滑动速度为200 r/min、PP或PP-X质量分数为30%情况下,UHMWPE及其共混物的摩擦因数和磨痕宽度随磨损时间的变化。由图3a可知,磨损时间小于15 min时,UHMWPE及其共混物的摩擦因数变化不稳定,这是因为磨损初期对偶表面与磨损表面有一个磨合过程。磨损时间为15~60 min时,UHMWPE及其共混物的摩擦因数变化较小甚至没有变化,超过60 min后摩擦因数开始增大。磨损过程中分子迁移到对偶副表面,由于分子链的柔顺性和润滑性,在对偶副和材料表面形成一层很薄的润滑界面^[9-10]。一旦润滑界面形成,摩擦力矩便趋于稳定,摩擦因数也趋于稳定。当润滑界面由于磨损而消耗掉,新一层的润滑界面形成之前,摩擦因数发生变化。由图3b可知,磨损时间小于60 min时,UHMWPE及其共混物的磨痕宽度变化不大,超过60 min后磨痕宽度增加较大。磨损30 min时,UHMWPE、UHMWPE/PP、UHMWPE/PP-X的磨痕宽度分别为7.10、5.05、4.50 mm,磨损时间为120 min时,分别增加到10.42、7.12、6.20 mm。其中UHMWPE的增幅最大,达到46.8%,UH-

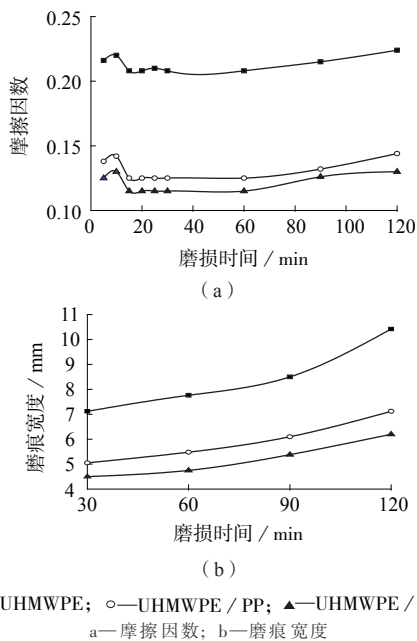


图3 磨损时间对UHMWPE及其共混物摩擦磨损性能的影响

MWPE/PP-X 的增幅最小,仅 37.8%。由此可见, UHMWPE/PP-X 对磨损时间的敏感性最弱。这是由于在磨损后期, UHMWPE 表面硬度较低,耐热性较差,发生了极大的塑性形变,从而使磨痕变宽。而 UHMWPE/PP-X 由于交联使得硬度和耐热性都有所提高^[7],从而使塑性形变减缓,因此在磨损后期增幅最小。

2.2 400 r/min 滑动速度下 UHMWPE 共混物的摩擦磨损性能

图 4 为 UHMWPE 共混物在负载 300 N、磨损时间 10 min、滑动速度为 400 r/min 条件下,摩擦因数和磨痕宽度与 PP 或 PP-X 用量的关系。由图 4 可知,其变化趋势与 200 r/min 滑动速度下的情况相似,共混物的摩擦因数和磨痕宽度随 PP 或 PP-X 用量的增加先减小后增大。当 PP 或 PP-X 的质量分数为 30% 时, UHMWPE/PP 的摩擦因数从纯 UHMWPE 时的 0.26 降至 0.15,降幅达 42.3%;磨痕宽度从 8.64 mm 降至 6.18 mm。而 UHMWPE/PP-X 的摩擦因数降至 0.14,降幅达 46.2%;磨痕宽度则降至 5.70 mm。这是由于共混物的传热性能差,高速滑动下材料的磨损情况很大程度上取决于磨损材料表面温度的高低。UHMWPE 磨损表面温度高,容易发生因表面熔融而导致的快速磨损,最终导致摩擦表面完全损毁。UHMWPE/PP-X 因交联而具有更好的耐热性,因此仍具有最好的摩擦磨损性能。

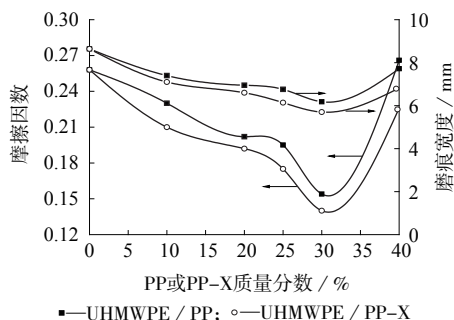


图 4 UHMWPE 共混物的摩擦磨损性能

3 结论

(1) 在相同的磨损条件下,与纯 UHMWPE 相比, UHMWPE/PP 和 UHMWPE/PP-X 共混物的摩擦

因数和磨痕宽度较小。加入适量 PP 或 PP-X 均能有效提高 UHMWPE 的摩擦磨损性能。其中, UHMWPE/PP-X 摩擦磨损性能优于 UHMWPE/PP。

(2) 负载增大, UHMWPE 及其共混物的摩擦磨损性能降低。

(3) 磨损时间小于 60 min, UHMWPE 及其共混物的摩擦因数和磨痕宽度变化不大;超过 60 min,摩擦因数和磨痕宽度均增大, UHMWPE/PP-X 的增幅最小。

(4) 在较高滑动速度 (400 r/min) 下, UHMWPE/PP-X 仍具有比 UHMWPE 更好的摩擦磨损性能。

参考文献

- [1] Suwanprateeb J. Binary and ternary particulated composites: UHMWPE/CaCO₃/HDPE[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2000, 75(12): 1503-1513.
- [2] 胡平, 王心蕊. 炭黑在超高分子量聚乙烯阻燃改性中的作用[J]. 现代化工, 2001, 21(6): 38-40.
- [3] 刘功德. 超高分子量聚乙烯的加工与高性能化[D]. 成都: 四川大学, 2003.
- [4] 任露泉, 陆朝宗, 蒋蔓, 等. 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]. 摩擦学报, 1997, 16(4): 334-339.
- [5] Shen F W, McKellop H A, Salovey R. Morphology of chemically crosslinked ultra high molecular weight polyethylene[J]. Journal of Biomedical Materials Research, 1998, 41(1): 71-78.
- [6] 周勇, 蔡松, 梁兵. UHMWPE/PP-X/PP 共混物滑动摩擦性能研究[J]. 工程塑料应用, 2008, 36(12): 9-12.
- [7] 罗玉梅, 周勇, 梁兵. 超高分子量聚乙烯的改性研究[J]. 工程塑料应用, 2010, 38(6): 17-20.
- [8] Chen Zhaobin, Li Tongsheng, Liu Xujun, et al. Friction and wear mechanisms of polyamide 66/high density polyethylene blends[J]. Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics, 2005, 43(18): 2514-2523.
- [9] Lin Chengbin, Wu Licheng, Chen Yuyao. Friction welding of similar materials: polypropylene, high-density polyethylene, and nylon-6[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2004, 91(5): 2771-2780.
- [10] Wang Honggang, Jian Lingqi, Pan Bingli, et al. Mechanical and tribological behaviors of polyamide 66/ultra high molecular weight polyethylene blend[J]. Polymer Engineering and Science, 2007, 47(5): 738-744.

STUDY ON FRICTION AND WEAR PROPERTIES OF UHMWPE

Luo Yumei

(College of Material Science and Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Zhou Yong, Liang Bing

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

ABSTRACT By adding polypropylene(PP) and crosslinked polypropylene(PP-X) , ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) /PP and UHMWPE/PP-X blends were produced. Then the friction and wear properties of UHMWPE and its blends were studied. The experimental results showed that when the weight ratio of PP or PP-X was 30% , the friction coefficient of UHMWPE/PP was 0.13, decreasing of 38.1% and the wear scar width was 5.05 mm; the friction coefficient of UHMWPE/PP-X was 0.12, decreasing of 42.9% and the wear scar width was 4.50 mm; UHMWPE/PP-X had more excellent friction and wear properties. With the increase of the load, the friction and wear properties of UHMWPE and its blends decreased. When the wear time was less than 60 min, the friction and wear properties of UHMWPE and its blends had little change, and when it was more than 60 min, the friction coefficient and the wear scar width both increased, while those of UHMWPE/PP-X increased least. Under high-speed sliding, the friction and wear properties of UHMWPE/PP-X was still best.

KEYWORDS ultra high molecular weight polyethylene, polypropylene, crosslink, blend, friction and wear

全球复合材料行业“东方红”

总部位于巴黎的复合材料推广组织 JEC 集团总裁兼首席执行官表示,最近几年全球需求增长一半都在亚洲,预计亚洲在全球复合材料市场所占比重将从 21 世纪初的 25% 提升至 2013 年的 51%。而中国将成为全球复合材料最活跃、发展最快的地区。

(1) 亚洲产量五年后翻番

复合材料发展的大趋势是,整个行业重心正在从欧美发达国家转向亚洲。亚洲复合材料产量高速增长是行业发展最明显的趋势之一。

在基础设施快速发展的推动下,亚洲复合材料产量到 2015 年有望翻番,达 1000 万 t。

(2) 运输行业潜力最大

与其它市场不同,亚洲市场中复合材料最大的应用领域为房屋与建筑,其次是电子与电气产品。用于运输的比例相比较小,只占 18%,而美国是 31%,欧洲是 33%。这表明亚洲地区复合材料未来在交通领域应用潜力很大。

复合材料在交通运输中的应用包括交通器材、交通设施两大类,汽车和正在建设的高铁都会大量使用复合材料。作为轻型材料中的一种,它已成为汽车行业潜力巨大的节能降本解决方案。

汽车用复合材料拥有诸多优势,如质轻、强度高、耐腐蚀、设计灵活、易于成型以及制造成本低等,未来复合材料将作为汽车企业减重减排、节能降本的“良方”,将成为传统金属材料的最佳替代品而得到广泛应用。汽车内饰件已经应用了天然纤维复合材料等复合材料,还有许多新技术正在开发中。

(3) 向高附加值领域渗透

全球复合材料的总产值为 600 亿欧元,总量 800 万 t,平均单位价格 7.2 欧元/kg。其中,北美产值占全球 36%,产量占 35%,平均单价 8.2 欧元/kg;欧洲、中东和非洲产值占全球 33%,产量占 22%,平均单位价格 8.4 欧元/kg;亚洲(不含中东)、澳大利亚和拉美地区产值占全球 31%,产量占 43%,平均单价 5.5 欧元/kg。

欧洲和美国的复合材料平均单价高于亚太地区,是由于复合材料本身的技术密集程度以及高科技应用程度不同而

造成的。欧洲产量占 22%,产值却占 33%。要提升亚洲复合材料的价值,就要多向风能和航空航天这样的高附加值领域渗透。

现在风能只占复合材料总用量的 5%,但增长率惊人,亚洲 2004 年至今的年增长率高达 74%。2008 ~2014 年,航空领域对复合材料的使用量将以每年 11% 的速度增长。

波音 787 中复合材料的用量是 51%,空客 A380 是 44%,而中国特种飞机才 5%。中国正在攻关的大飞机将大量应用复合材料。

目前在风能叶片上应用的复合材料,多采用以环氧树脂为基材的玻纤增强类型。随着风电叶片尺寸的增大,今后可能转向环氧、碳纤维或预浸料这样的复合材料。另外,顺应降低材料成本的需要,聚酯/玻纤复合材料也将得到广泛应用。(中化新网)

功能型高分子新材料示范工程建成

中科院上海应用物理研究所承担的国家高技术产业化项目辐射改性功能型高分子新材料高技术产业化示范工程,日前在北京通过专家验收。

该项目形成了年产辐射接枝电池隔膜 400 万 m²、辐射接枝沥青改性剂 1500 t、辐射交联聚烯烃产品 150 t、生物医药用过滤膜 10 万 m²、辐照交联高分子材料 500 t 的生产能力;开发了具有自主知识产权的超级电容器隔膜、锌镍电池隔膜、氢镍电池隔膜等产品。该项目产品已在多个行业进行了示范性应用,自试生产以来实现销售收入 1.26 亿元。

(聚合物网)

生物基聚氨酯进入保温领域

一个北美的聚氨酯泡沫系统领军企业 DEMILEC 在加拿大魁北克政府获得某环境友好奖章。

DEMILEC 公司表示,其新一代的高度环保的保温材料能够在提供更舒适更高质量的建筑的同时,还能减少超过 50% 的能耗。

这种新一代的聚氨酯保温材料被称为“HEATLOK SO-YA”,符合加拿大最新的严厉法规。该产品是一种最先进的聚氨酯泡沫喷涂系统,能够表达公司对生态的关怀,推进了用可再生的大豆油来替代不可再生的石油化工品,采用生物基原料能够更好的保护环境。(色母粒)