

苧麻增强聚醚砜复合材料的制备及摩擦学性能研究^{*}

吴 茵 龙春光

(长沙理工大学汽车与机械工程学院,长沙 410114)

摘要 采用机械共混-模压法制备了聚醚砜(PESU)/聚四氟乙烯(PTFE)/苧麻纤维(RF)复合材料,研究了复合材料的摩擦学性能,并用扫描电子显微镜对磨损表面进行了观察与分析,在此基础上探讨了复合材料的磨损机理。结果表明,用机械共混-模压法制备 PESU/PTFE/RF 复合材料是可行的;与 PESU 相比,复合材料的摩擦学性能得到了提高;随着 RF 含量的增加,复合材料的磨损机理发生了由犁削、粘着磨损向疲劳磨损的转变。

关键词 聚醚砜 苧麻纤维 制备 摩擦学性能

高分子材料用作减摩耐磨材料始于 20 世纪 60 年代,但其发展极为迅速。目前,高分子材料在摩擦领域中的应用已越来越广泛,其中,具有芳香结构的聚醚砜(PESU)是一种引人注目的高性能工程塑料,它具有优良的力学性能、热稳定性、化学稳定性、抗高温蠕变性及可加工性能^[1],能够在特定的摩擦润滑条件下稳定可靠地工作,可作为耐磨材料用来制造轴承、齿轮、导轨等零件。填充适宜填料的 PESU 复合材料摩擦系数低且耐磨性好,是一种优良的低摩耐磨材料,以碳纤维^[2]、玻璃纤维^[3]、钛酸钾晶须^[4]等作增强体的 PESU 研究均已报道,而采用天然纤维增强 PESU 则未见报道。

天然纤维由于具有很多优异的特性而逐渐被研究者所熟悉,比如其拉伸强度和断裂强度高,耐摩擦磨损,生态环保,可自然降解,是可再生资源且轻质价廉等。随着高性能天然纤维及其复合材料的研究与开发应用,麻类纤维逐步被用来作为复合材料的增强材料使用^[5-6],其中苧麻是麻纤维中性能较好的,它的比强度接近玻璃纤维,很适合作为增强材料,通过一定的改性可以改善其与复合材料的界面结合,提高复合材料的硬度、压缩强度和耐磨性等^[7]。笔者利用天然苧麻纤维(RF)的低密度、高强度和可降解性等优点^[8-9],采用 RF 增强 PESU,并以聚四氟乙烯(PTFE)作固体润滑剂来协同改善材料的摩擦磨损性能,用机械共混-模压法制备了 PESU/PTFE/RF 复合材料,探讨了 RF 含量对其摩擦学性能的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

PESU: 长春吉大高新材料有限公司;

RF: 浏阳河苧麻厂;

PTFE: 四川省富顺县晨光化学研究所;

硅烷偶联剂: KH550, 南京曙光化工厂;

固体脱模剂: 自制;

NaOH 溶液、乙醇水溶液及其它助剂: 市售。

1.2 设备、仪器

涡流式多功能混料机: TM2 型, 张家港轻工机械厂;

鼓风干燥箱: FN101-C 型, 巩义市英峪予华仪器有限公司;

转矩流变仪: RM-200/300 型, 哈尔滨哈普电气技术有限公司;

平板硫化机: JYPL-500 KN 型, 湖南萍乡市华科机械实业有限公司;

金相抛光机: PG-2D 型, 上海光学仪器厂;

盘销式摩擦磨损试验机: MPX-2000 型, 宣化北仑平衡机制造有限公司;

扫描电子显微镜(SEM): JSM5600LV 型, 日本电子株式会社。

1.3 试样制备

PESU/PTFE/RF 复合材料试样的制备工艺过程如图 1 所示。

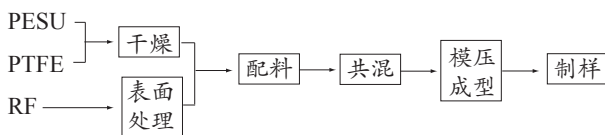


图 1 PESU/PTFE/RF 复合材料试样的制备工艺过程

具体过程如下:

(1) 试样组成的确定

根据有关文献^[10], 添加质量分数 10%~20% 的固体润滑剂可以改善材料的摩擦磨损性能, 笔者将

^{*} 湖南省教育厅一般项目资助(07C093)

PTFE 的质量分数固定为 10%。根据聚合物结晶的基本理论及 PESU 的有关性质,确定 RF 的质量分数分别为 5%、10%、15%、20%、25%。

(2) RF 的表面处理

先将 RF 放入 3% 的 NaOH 溶液中恒温 80℃ 处理 2 h,用自来水洗至中性,烘干恒重。再用乙酸调节 95% 乙醇水溶液至 pH 值为 4.5 ~ 5.5,边搅拌边加入质量为乙醇水溶液 2% 的硅烷偶联剂,水解 5 ~ 10 min 后放入经碱处理的 RF 中浸泡 1 h,取出置于 80℃ 干燥箱中干燥,然后剪成 3 ~ 5 mm 装入塑料袋收藏备用。

(3) 模压试样制备

将 PESU、PTFE 及按比例配混后的样品用干燥箱进行充分干燥(120℃ 下烘 3 ~ 5 h)。为保证 RF 在 PESU 中均匀分布,先采用涡流式多功能混料机预混,然后用转矩流变仪挤出两次,再在平板硫化机上采用模压成型制样,因 PESU 粘度较大,采用自制固体脱模剂进行脱模;原料加入模具后,经过预压、升温,期间应进行多次脱气,压力由小到大,以减小制品缺陷,按工艺要求达到一定的压力和温度后进行保温,然后通水冷却,当模板达到 60℃ 时即可开模取出试样。

1.4 性能测试

摩擦磨损性能检测:试样为无缺口盘状试样,直径 35 mm,对磨件为 45[#] 钢销,硬度 HRC40 ~ 45。实验参数为:转速 200 r/min,载荷 150 N,磨损时间 2 h,室温下干摩擦。试验前用金相抛光机对试样的表面进行研磨,并用无水乙醇清洗。摩擦磨损试验结束后,用精度为 0.01 mg 的电子天平称量试样磨损前后的质量损失。实验数据为每组取 5 个试样的平均值。

2 结果与讨论

2.1 复合材料的制备方法

PESU 是一种热固性材料,而且粘度较大,不宜采用挤出或注射的成型方法,故采用模压成型方法。制备过程中采用正交试验方法,通过调整工艺参数(如成型压力、烧结温度、保温时间等),并使用自制固体脱模剂进行脱模,压制成功率可达 95% 以上,制品致密,表面光洁。说明用机械共混-模压法制备 PESU/PTFE/RF 复合材料是可行的。

2.2 复合材料的摩擦磨损性能

图 2 示出 RF 含量对 PESU/PTFE/RF 复合材料摩擦因数和磨损量的影响。

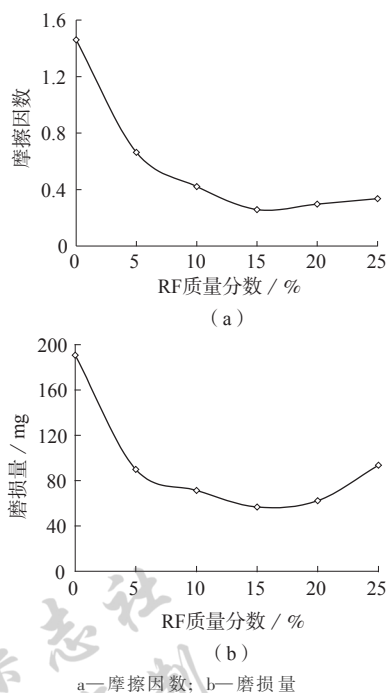


图2 RF含量对复合材料摩擦因数和磨损量的影响

由图 2 可以看出, RF 可以较为显著地降低复合材料的摩擦因数和磨损量,随着 RF 含量的增加,二者均呈现先下降再缓慢升高的趋势,并且在 RF 质量分数为 15% 时出现最低值:摩擦因数为 0.258,磨损量为 56.62 mg,相对于纯 PESU 分别下降了 82.3% 和 68.6%。这是因为加入 PTFE 和 RF 后,试样的总体硬度增加,这符合 Archard 磨损规律^[11]:硬质材料与软质材料对磨时,软质材料的磨损量与硬度成反比。另一方面 RF 含量较低时,由于“浸润”RF 与基体材料的界面结合较好,在基体中形成一定的交联网络,使基体材料结构紧密不容易脱落,从而导致复合材料的摩擦学性能有较大幅度提高。但当 RF 含量超过一定值时(如 25%),易造成 RF 在基体中分散不够均匀,团聚现象变得严重,使得复合材料在摩擦过程中纤维脱落现象较为严重,从而加剧了复合材料的磨损,使得复合材料的摩擦因数和磨损量增大。

2.3 复合材料的磨损机理探讨

图 3 为不同 RF 含量时 PESU/PTFE/RF 复合材料的磨损表面 SEM 照片。

从图 3a 中可以看到相互平行排列着连续分布的犁沟,这是由于摩擦产生的热量使材料发生局部塑性流动造成的,这与 PESU 基体硬度较低、韧性较好有关,说明纯 PESU 的磨损机制为犁削作用。图 3b 与图 3a 相比材料的耐磨性有所提高,犁沟少而

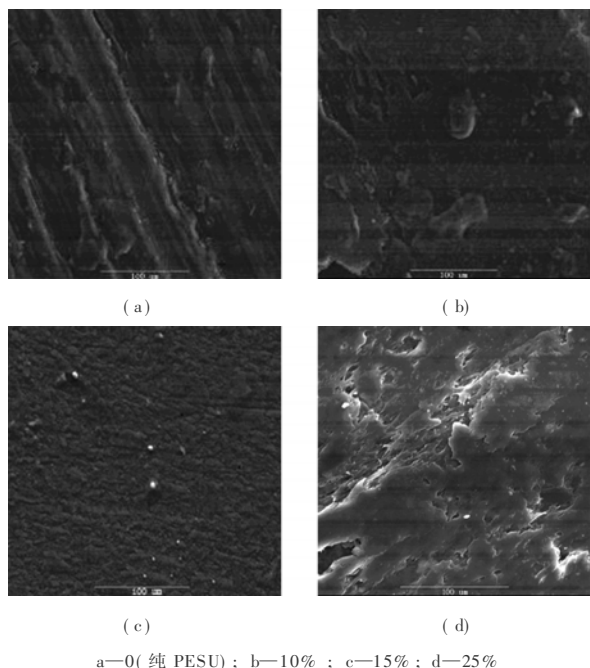


图3 不同 RF 含量时复合材料的磨损表面 SEM 照片

浅,但出现较为明显的剥落现象,此时的磨损机制为粘着磨损为主,犁削为辅。这是由于添加了 RF 及固体润滑剂 PTFE 后,复合材料的总体硬度和压缩屈服极限提高,另外,由于摩擦过程中出现的瞬时高温,使接触峰点产生粘着,随后在滑动中粘着结点破坏,形成粘着磨损。由图 3c 可看出,磨面平整,无撕裂现象,沿摩擦方向排列着成线状或片状较为致密的浮凸,这些浮凸将代替试样参与摩擦过程而减少复合材料的磨损。这说明随着 RF 含量的增加,纤维在基体组织中形成交联网络,可以起到一定的铆接作用,使基体材料结构紧密不易脱落,抗粘着能力增强。从图 3b、3c 中可见一些 PTFE 颗粒,表明 PTFE 在摩擦过程中向偶件表面转移,并在偶件表面形成极薄的转移膜,从而有效地降低摩擦因数和比磨损率,这与 Bahadur 等^[12]的研究相符合,此时复合材料的磨损机制属粘着磨损。从图 3d 中可看到表面撕脱及撕脱后留下的凹坑,还存在明显的疲劳裂纹,说明当 RF 含量太高时,复合材料的磨损机制以疲劳磨损为主。

树脂基复合材料的磨损微观机制可以分为基体磨损,纤维的滑动磨损,纤维断裂,以及纤维、基体粘 4 种形式^[13]。当纤维含量较低时,基体和纤维粘接得较好,此时以前两种磨损形式为主;但纤维含量过高时,发生后两种磨损的几率增加,而且断裂和拔出的纤维可在偶件表面促进第三体磨粒磨损。在摩

擦过程中,载荷的作用使复合材料中的硬质相成为应力集中源,在其周围容易出现应力集中,进而使其周围的材料产生塑性变形甚至塑性流动。当对磨面上的硬凸峰在复合材料表面滑动时,这些硬质点就不断受到循环载荷的作用,使其周围的应力和材料的塑性流动也将不断增大。随着滑动的作用,接触疲劳加剧,最终发生表层脱落,在磨损表面留下剥落坑。

3 结论

(1) 用机械共混-模压法能制得摩擦学性能良好的 PESU/PTFE/RF 复合材料。

(2) 添加适量的 RF 可较为显著地降低 PESU 复合材料的摩擦因数和磨损量,当 RF 的质量分数为 15% 时复合材料的摩擦因数和磨损量最低。

(3) 纯 PESU 的磨损机制为犁削作用,RF 含量低时,磨损机制以粘着磨损为主,犁削为辅,而 RF 质量分数达到 25% 时磨损机制转换为疲劳磨损。

参考文献

- [1] 杨世英,陈栋传,鲍靖,等.工程塑料手册[M].北京:中国纺织出版社,1994:219-223.
- [2] 赵伟岩,李岩,陆再平,等.碳纤维增强聚醚醚复合材料摩擦磨损性能研究[J].摩擦学学报,2000,20(6):421-425.
- [3] Yamaguchi Y. Tribology of plastic materials[M]. Amsterdam: Elsevier, 1990: 203-360.
- [4] 华煜煜,李融峰,龙春光.钛酸钾晶须增强聚醚醚复合材料摩擦学性能的研究[J].润滑与密封,2008,33(7):50-52.
- [5] 肖加余,曾竟成,张长安,等.苧麻纤维增强聚合物复合材料研究[J].工程塑料应用,2001,29(2):12-15.
- [6] 刘丽妍,黄故.亚麻/聚丙烯机织复合材料薄板的制备与研究[J].玻璃钢/复合材料,2005(5):17-21.
- [7] 倪敬达,于湖生.天然植物纤维增强复合材料的研究应用[J].化纤与纺织技术,2006(2):29-33.
- [8] Mutje P, Girones J, Lopez A. Hemp Strands: PP composites by injection molding: Effect of low cost physic-chemical treatments[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2006, 25(3): 313-327.
- [9] 杨得文.汽车制造业看好天然纤维增强材料[J].现代塑料,2004(12):61-64.
- [10] Yan F Y, Xue Q J. IR study of the interaction between graphite and PTFE during mixing process[J]. Chinese Science Bulletin, 1997(7):68-75.
- [11] 温诗铸,黄平.摩擦学原理[M].北京:清华大学出版社,2002:256-411.
- [12] Brhadur S, Gong Deli. The action of filler in modification of the tribological behavior of polymers[J]. Wear, 1992, 158: 41-59.
- [13] Friedrich K. Advance in composite tribology[M]. Amsterdam: Elsevier, 1993: 107-157.

PREPARATION OF RAMIE FIBER REINFORCED PESU COMPOSITE AND ITS TRIBOLOGY PROPERTY

Wu Yin, Long Chunguang

(Institute of Automobile and Mechanical Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

ABSTRACT PESU/PTFE/RF composite was prepared by blend-compression method with torque rheometer. The tribology behavior was investigated by the friction and wear experiment. The worn surface of the composite was studied by SEM technique, and on the base of it, the wear mechanism was analyzed. Results showed that preparing PESU/PTFE/RF composite of good tribology performance by the compression molding was possible; with the adding of RF content, the wear mechanism changed from microcutting, transfer wear to fatigue wear.

KEYWORDS PESU, RF, preparation, tribology property

欢迎订阅 2010 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等 26 项国家、省部委级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2010 年定价 13 元/期,全年 156 元。1986 年以来的期刊价目见表 1。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获 6 项省部委级优秀期刊奖,被美国化学文摘(CA)收录。2010 年定价 13 元/期,全年 78 元。创刊号以来的期刊价目见表 2。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 我社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2009 年底共 37 卷 242 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2009 年底共 18 卷 71 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 500 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 200 元。

邮局汇款:

收款单位:山东省济南市 108 信箱杂志社
邮编:250031 传真:(0531) 85947355 85878057
电话:(0531) 85878057 85878223 85878278

银行汇款:

户名:中国兵器工业集团第五三研究所
开户银行:济南市工商银行经十一路支行
帐号:1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.com>

表 1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
1986~1989	16	0.825	13.2	19
1990~1992	12	1.4	16.8	23
1993~1994	10	2.4	24	30
1995	6	2.8	16.8	23
1996	6	3	18	24
1997	6	3.5	21	27
1998	12	3.5	42	48
1999	12	4	48	54
2000	12	5	60	66
2001	12	5.5	66	78(两本)
2002	12	6	72	84(两本)
2003	12	6.5	78	90(两本)
2004	12	7	84	96(两本)
2005	12	7.5	90	102(两本)
2006	13	8	104	116(两本)
2007	12	9	108	120(两本)
2008	12	10	120	132(两本)
2009	12	12	144	156(两本)
2010	12	13	156	156(单册)
合计	213		1000(优惠)	1100(优惠)

表 2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
创刊号~1998	9	3	27	33
1999~2001	14	4	56	62
2002	6	5	30	72
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	93
2005	6	7.5	45	
2006	6	8	48	108
2007	6	9	54	
2008	6	10	60	66
2009	6	12	72	78
2010	6	13	78	78(单册)
合计	77		450(优惠)	500(优惠)