

CF/PEEK 复合材料的摩擦磨损行为研究^{*}

张志毅 章明秋 曾汉民
(中山大学材料科学研究所, 广州 510275)

摘要 研究了碳纤维增强聚醚醚酮 (CF/PEEK) 复合材料的摩擦磨损行为. 结果表明复合材料的摩擦系数与磨损率依赖于材料中纤维的含量, 在 10% ~ 20% 范围有最低值, 并对载荷有明显的依赖性. 纤维含量的影响是碳纤维本身的减摩阻磨性和其对纤维在树脂中所处的分散状态及纤维在作用中的变化的依赖性有关; 而载荷的影响则与树脂在作用过程中产生热后所处的物理状态有关. 由于纤维对材料的摩擦尤其是磨损性能可能产生不利的影响, 如纤维受磨减薄后产生的碎片导致磨料性磨损, 而这种影响可通过复合材料的制备工艺来达到一定程度的控制, 制备工艺对获得理想材料至关重要.

关键词 碳纤维, 聚醚醚酮, 复合材料, 摩擦与磨损行为, 无润滑剂
分类号 TB 332

随着当代工业的发展, 高分子复合材料因其优异的耐损伤性, 耐化学试剂性、独特的微观结构和粘弹性, 以及较低的日常维护费用, 而在许多场合 (如无润滑、腐蚀、低速高负荷等) 下取代传统的金属材料作为抗磨耐摩材料使用^[1,2].

由于以热固性高分子材料为基体的复合材料在物理和化学性能上存在着种种缺点, 而高性能热塑性高分子复合材料不仅克服了这些不足之处, 并且能够提供重复使用、热成型、连续加工等有利条件^[3]; 在这当中, 聚醚醚酮 (PEEK) 复合材料是一种很有代表性的新型高性能热塑性高分子复合材料, 它兼具高强度、高模量、高韧性、高使用温度、高耐腐等特性, 在自润滑材料领域显示出强大的发展的潜力^[4]. 关于 PEEK 复合材料的摩擦磨性能已有一些报道, 但都用已商品化而用作结构材料的复合材料作为研究对象^[5], 在复合材料与制备方面缺乏摩擦学的考虑; 同时对材料的摩擦磨损机理也缺乏了解. 为此, 本文特研究了纤维含量, 材料制备方法对 CF/PPEEK 复合材料摩擦磨损性能的影响, 并探讨了摩擦磨损机理.

1 实验部分

1.1 材料及制备

PEEK 原粉由吉林大学提供, 碳纤维 (CF) 为辽源特种纤维厂生产. 复合材料制备为: 按一定比例将经 60 目筛过筛的 PEEK 原粉与长度为 1.5 mm 以下的碳纤维在组织捣碎机中

^{*} 国家自然科学基金 (59303024), 国家教委“跨世纪优秀人才专项基金”和广东省自然科学基金 (940144) 资助项目

收稿日期: 1995-10-13 张志毅, 男, 32 岁, 副教授

以酒精为介质高速搅动混合后,进行过滤、干燥,并放入模具中于 390°C 熔融 10 min,再加压成型。测试时,将材料切割成 $5\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 16\text{ mm}$ 的样条。

1.2 测试

用宣化 M-200 型试验机进行摩擦磨损性能测试。对磨件是直径为 40 mm 的 45 号钢轮,表面硬度 $\text{HRC}=48\sim 50$,使用前经 500 号水砂纸抛光并用丙酮洗净。线速度为 0.4 m/s ,总行程为 4 300 m。摩擦系数通过摩擦功计算,磨损率以试样长度的减少与总行程之比表示。材料的纤维分布用 Letiz Orthoplan 型光学显微镜观察。

2 结果与讨论

图 1 为 CF/PEEK 复合材料摩擦系数 (μ) 对纤维重量含量 w_{CF} 的依赖性,可见加入碳纤维后 PEEK 摩擦系数显著降低,并且当纤维含量为 10%~20% 的范围内复合材料的 μ 有一最小值。

纤维的加入将提高材料的屈服强度,减少真实接触面积;同时由于纤维部分取代基体而直接承载,也减少了树脂与钢表面的相互作用。这些都将减少树脂的粘着,从而使复合材料有较小的摩擦力和摩擦系数。当纤维含量超过一定值后,摩擦系数的增加被认为是由于更多纤维与钢的直接接触及缺乏足够的树脂来形成转移膜所致^[6]。除此以外,还与此时复合材料摩擦磨损表面有较大的粗糙度有关。通常在纤维含量较低时,纤维分散于树脂中,两相粘结较好,磨损面较为平整,而在纤维含量较高时,纤维易于团聚,摩擦中纤维间树脂脱落,磨损面粗糙。如图 2 所示,在碳纤维含量为 5% 和 10% 时,树脂基体中纤维能很好地分散,在摩擦过程中能充分发挥作用,故使材料有较低的摩擦系数;在碳纤维含量为 30% 和 40% 时,部分纤维发生搭接并且纤维间树脂很少,摩擦中很容易发生界面破坏,故使摩擦系数增大。关于这一点,我们曾在仅改变 PEEK 粒度,使用大颗粒 PEEK 原粉(20~40 目)制备了碳纤维含量为 20%,但纤维分散较差的复合材料,经与图 1 同样的条件测试得知,其摩擦系数为 0.258,比图 1 中纤维含量为 20% 的复合材料数值要高,从而证实了上述观点。

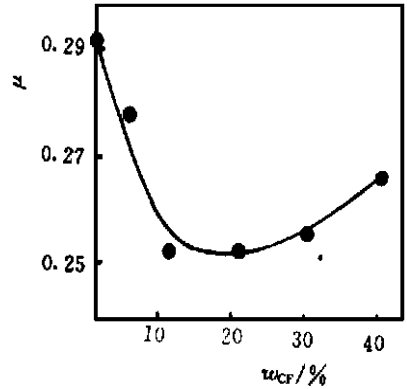


图 1 不同纤维含量的 CF/PEEK 复合材料的摩擦系数

Fig. 1 The friction coefficient of CF/PEEK composites as a function of fiber content. $P=6\text{ MPa}$

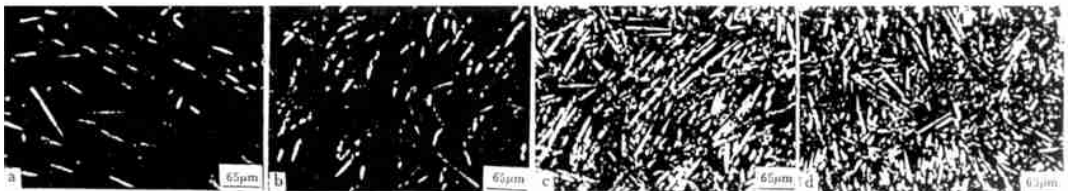


图 2 CF/PEEK 复合材料的金相显微镜照片

Fig. 2 The optical micrographs of CF/PEEK composites
纤维含量 $w/\%$ 为: (a) 5, (b) 10, (c) 30, (d) 40

CF/PEEK 复合材料摩擦性能的载荷 (P) 依赖性如图 3 所示. 在 8~10 MPa 的范围, 材料出现了 μ 的最低值. 摩擦系数的减小是因为在材料不软化的条件下, 载荷的增大有利于形成减摩的边界润滑条件. 而摩擦系数的增大可能与在高载荷下摩擦生热大, 树脂发生软化, 导致摩擦过程中的粘着增大有关. 复合材料摩擦磨损表面温度随载荷的增大上升很快^[6].

考察 CF/PEEK 复合材料的磨损特性得到纤维含量对材料磨损率的影响 (图 4) 及磨损率与载荷的关系 (图 5). 在碳纤维含量为 10%~20% 时, 磨损率也出现了一最低值, 而载荷的增加始终使材料的磨损率增大.

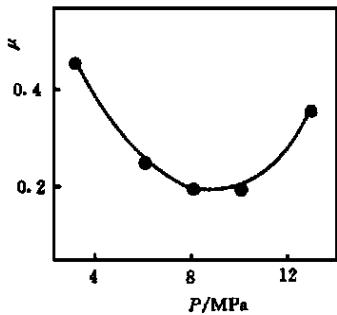


图 3 不同载荷下 CF/PEEK 复合材料的摩擦系数

Fig. 3 The friction coefficient of CF/PEEK composites as a function of load.

$w_{CF} = 30\%$

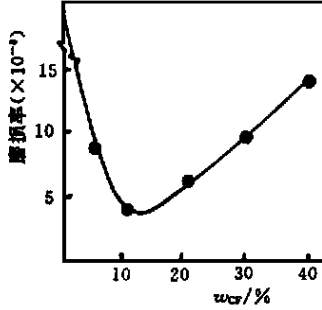


图 4 不同纤维含量的 CF/PEEK 复合材料的磨损率

Fig. 4 The wear of CF/PEEK composites as a function of fiber content.

$P = 6 \text{ MPa}$

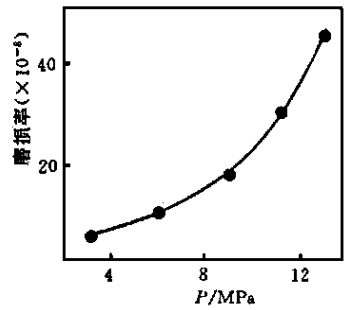


图 5 不同载荷下 CF/PEEK 复合材料的磨损率

Fig. 5 The wear of CF/PEEK composites as a function of load.

$w_{CF} = 30\%$

碳纤维对 PEEK 磨损率的改善主要是由于纤维阻碍了树脂的磨损, 减小了磨损. 就单根纤维来说, 其对树脂耐磨性的贡献要持续到纤维快被磨尽而破碎时, 因为破碎了的纤维不仅丧失了阻磨作用, 而且由于自身硬度高会导致材料发生磨料性磨损, 产生不利的影响. 显然复合材料的磨损性能与哪一个因素占主导地位是有关的, 由此分析图 4 的结果可知, 当纤维含量较低时, 纤维分散好, 产生的纤维碎片少, 磨损率下降是主要趋势; 当纤维含量较高时, 一方面产生的这种碎片多, 另一方面由于部分纤维聚集导致的纤维脱落也会导致磨料性的磨损, 从而使材料有较大的磨损, 并呈现磨损上升之趋势.

从上述分析的磨损机理出发, 减少纤维破碎的量及减少纤维脱落的量是获得具最佳耐磨性的复合材料的关键. 这方面, 可通过采用较长的纤维, 加强纤维与树脂的粘结, 使材料中纤维垂直于作用面取向及采用最佳纤维含量, 使材料中纤维分散好来实现. 其中部分途经的采用还可达到摩擦与磨损性能的统一, 如加强纤维与树脂的粘结及用最佳纤维含量, 使纤维分散好都可使材料具有低的摩擦系数和磨损率. 由于 CF/PEEK 复合材料在纤维含量为 10%~20% 具有最佳的摩擦磨损性能 (图 1 和图 4 所示), 作为结构材料使用的复合材料 (纤维含量 $\geq 30\%$) 从摩擦学考虑显然不是最佳的. 需要指出的是, 使材料中的纤维垂直于作用面从摩擦性能的角度来看是不利的, 因为碳纤维的石墨晶面是沿纤维轴向取向的, 纤维在其轴向的摩擦系数低于垂直于轴向的摩擦系数, 因此, 在通过复合材料的制备工艺来控制材料

的摩擦磨损性能时,需要作一个全面的考虑.

参 考 文 献

- 1 Czichos H. Tribology. Amsterdam: Elsevier Sci Publ, 1987
- 2 Friedrich K. Friction and Wear of Polymer Composites. Amsterdam: Elsevier Sci Publ, 1986
- 3 Ogerkiewicz A M. Thermoplastics Properties and Design. New York: John Wiley and Sons, 1974
- 4 Bely V A, Sviridenok A I, Petrokovets M I, et al. Friction and Wear in Polymer-Based Materials. Oxford: Pergamon Press Ltd, 1982
- 5 Cogswell F N. Thermoplastic Aromatic Polymer Composites. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1992
- 6 Zeng H, He G, Yang G. Friction and wear of poly(phenylene sulphide) and its carbon fiber composites I. Unlubricated, Wear, 1987, 116 59- 68

The Friction and Wear Behavior of PEEK Composites Reinforced by Carbon Fiber

Zhang Zhiyi^{*} *Zhang Mingqiu* *Zeng Hanmin*

Abstract The friction and wear behavior of the composites of polyetheretherketone (PEEK) reinforced by carbon fiber is described in this work. Both the friction coefficient and wear rate of the composites were found to be dependent on the carbon fiber content with a minimum at 10%~ 20%, and dependent on the load. Although carbon fiber has a reducing effect on the friction and wear of PEEK, its breakage and debonding with the matrix, occurring in the process, may also lead to high friction coefficient and wear rate. The side effect caused by the fiber can be controlled, in a certain degree, by changing the processing of the composites.

Keywords carbon fiber, polyetheretherketone, composites, friction and wear behavior, unlubricated

^{*} Materials Science Institute, Zhongshan University, Guangzhou 510275