

金属纤维增强 PTFE 基复合材料的摩擦学性能

杨生荣 刘维民 薛群基

(中国科学院兰州化学物理研究所固体润滑开放研究实验室 兰州 730000)

张 俊 祥

(华北工学院专科学校化学工程系 太原 030008)

摘要 研究了钢纤维、铜纤维及二者混杂增强聚四氟乙烯基复合材料的摩擦学性能,用扫描电子显微镜观察了复合材料的磨损表面形貌。结果表明:分别以这2种金属纤维增强都能大幅度降低聚四氟乙烯的磨损,钢纤维的增强效果比铜纤维的好,2种纤维混杂增强的效果比单一纤维增强的更好;增强纤维支承负荷、抑制磨损表面龟裂是其改善聚四氟乙烯抗磨性的主要机理。

关键词 金属纤维 聚四氟乙烯 复合材料 磨损机理

分类号 TQ 325.4

聚四氟乙烯(PTFE)的耐热性、耐化学药品性和介电性能良好,且具有独特的非粘着性和非常低的摩擦因数,但其磨损率高而限制了它的应用范围。20多年来,在PTFE中添加各种填料和增强剂以进行改性逐渐成为摩擦学研究的重点之一^[1,2],研制了一系列PTFE基自润滑复合材料,已经应用于制造轴承和齿轮等。作者曾研究过以金属粉末及其氧化物填充的PTFE基复合材料,发现摩擦因数与纯PTFE的相当,而磨损仅为后者的1/300^[3,4]。本文简要报道对2种金属纤维增强PTFE基复合材料的摩擦学性能及其抗磨机理的研究结果。

1 试验部分

1.1 原料与复合材料制备

原料PTFE是国内悬浮法生产的PTFE粉末,经气流分选其粒径不大于14.5 μm 。增强用2种金属纤维都是国产品:钢纤维(F_{ST})材质是低碳钢(GB 343-82),铜纤维(F_{Cu})材质是黄铜(GB 31100-82),直径都在0.1~0.4 mm之间,长径比均处于20~120的范围。将2种金属纤维都用乙醇-丙酮溶剂清洗,干燥备用。金属纤维增强PTFE基复合材料采用干法共混、冷压成型(压力40 MPa)、380℃烧结、随炉冷却制备。PTFE基复合材料所含增强纤维的体积分数,除用于研究纤维含量对复合材料摩擦学性能影响的样品外,其余的均为30%。

1.2 仪器与试验方法

试验在日本产RFT-III型往复试验机上进行,上下试样的接触形式为面接触。上

本文作者排名顺序实为:杨生荣、张俊祥、刘维民、薛群基/1997-01-27收到初稿,1998-01-15收到修改稿/联系人杨生荣

杨生荣 男,33岁,硕士、副研究员、硕士生导师,目前主要从事复合材料摩擦学研究,发表论文20余篇

张俊祥 男,28岁,助教,目前主要从事精细化工产品及其高分子复合材料研究

刘维民 简介内容见本刊本期第25页

薛群基 简介内容见本刊本期第13页

试块用 PTFE 基复合材料制成, 尺寸为 $\phi 8 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$, 在试验前用 700[#] 水沙纸打磨, 表面粗糙度 $R_a = 0.10 \mu\text{m}$ (中心线的算术平均值); 下试块的材料是 45[#] 钢, 尺寸为 $7 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$, 表面粗糙度 $R_a = 0.06 \mu\text{m}$. 试验条件是: 负荷 245 N, 往复频率 120 min^{-1} , 室温, 干摩擦. 试样在进行正式试验之前与偶件预磨 200 次, 然后用无水乙醇清洗干净再用感量为 0.00001 g 的天平进行质量测定, 以此时的质量为起始值. 在正式试验过程中, 每往复滑行 1 000 次, 用同种天平测量上试块的磨损质量损失.

试样磨损表面喷金后, 用 JEM 120-EX 扫描电子显微镜 (SEM) 观察其表面形貌.

2 试验结果与讨论

图 1 是 2 种 PTFE 基复合材料摩擦磨损性能随往复次数变化的关系曲线. 由图 1(a) 可

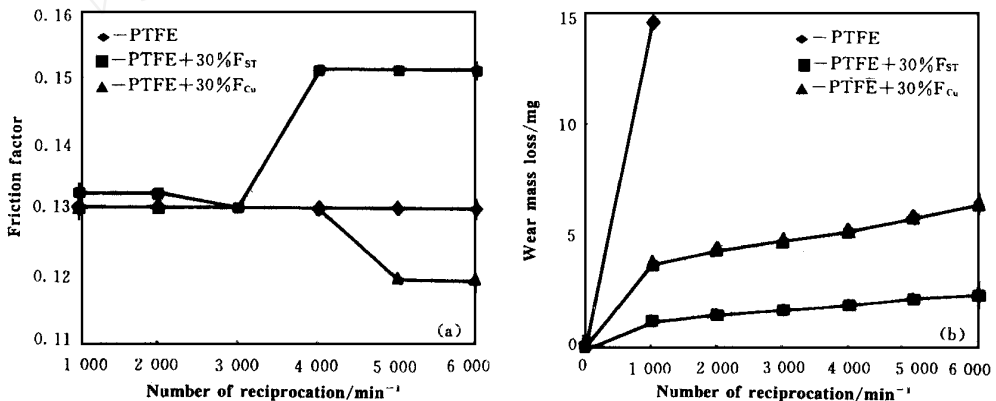


Fig 1 Variation in the friction and wear properties of PTFE-based composite containing metallic-fiber with number of reciprocation

图1 金属纤维增强 PTFE 基复合材料的摩擦磨损性能随往复次数变化的关系曲线

以看出, 2 种纤维增强对摩擦因数的影响都不大, 往复次数增多, PTFE + 30% F_{st} 复合材料的摩擦因数有所上升, PTFE + 30% F_{cu} 复合材料的摩擦因数略有下降. 图 1(b) 所示表明, 金属纤维增强可以大幅度降低 PTFE 的磨损, 而且以硬度 ($HB 197$) 较高的 F_{st} 增强的复合材料耐磨性比以硬度 ($HB 80$) 较低的 F_{cu} 增强的好, 这表明纤维支承负荷是抗磨作用的主要机理. 在第一个 1 000 次往复行程中, 磨损值上升很快, 然后随着往复次数的增加, 磨损值的上升幅度远比初期的小, 这说明摩擦转移膜的形成能有效地降低复合材料的磨损.

图 2 所示为以体积分数 30% 的混杂纤维增强的 PTFE 基复合材料摩擦磨损性能随往复次数变化的关系曲线. 由图 2(a) 可见, 钢纤维与铜纤维的体积分数比 $\varphi_{st}/\varphi_{cu} = 2.0$ 时, 摩擦因数随往复次数的增加而略有上升, $\varphi_{st}/\varphi_{cu} = 0.5$ 时, 摩擦因数随往复次数的增加而略有下降, $\varphi_{st}/\varphi_{cu} = 1.0$ 时, 摩擦因数基本不随往复次数的增加而变化. 由图 2(b) 所示混杂纤维增强 PTFE 基复合材料的磨损质量损失与往复次数的关系可见, 其磨损行为与单一纤维增强材料的相似, 且 F_{st} 与 F_{cu} 的体积分数比值不同, 磨损质量损失上升的趋势有所不同.

纤维含量对复合材料摩擦磨损性能的影响如图 3 所示. 可以看出: 随着纤维体积分数或混杂纤维中低碳钢纤维体积分数的增加, 复合材料的摩擦因数升高, 钢纤维含量在体积分数

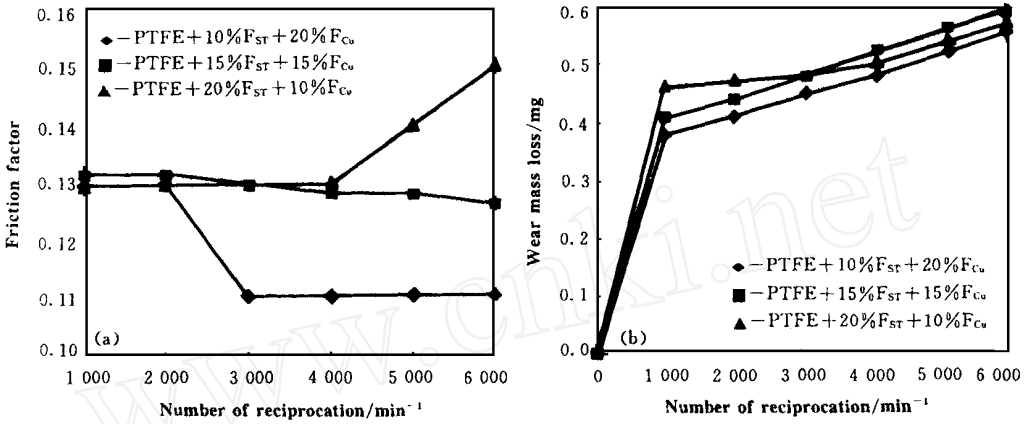


Fig 2 Variation in the friction and wear properties of PTFE-based composite containing hybrid metallic fiber w with number of reciprocation

图2 混杂金属纤维增强 PTFE 基复合材料的摩擦磨损性能随往复次数变化的关系曲线

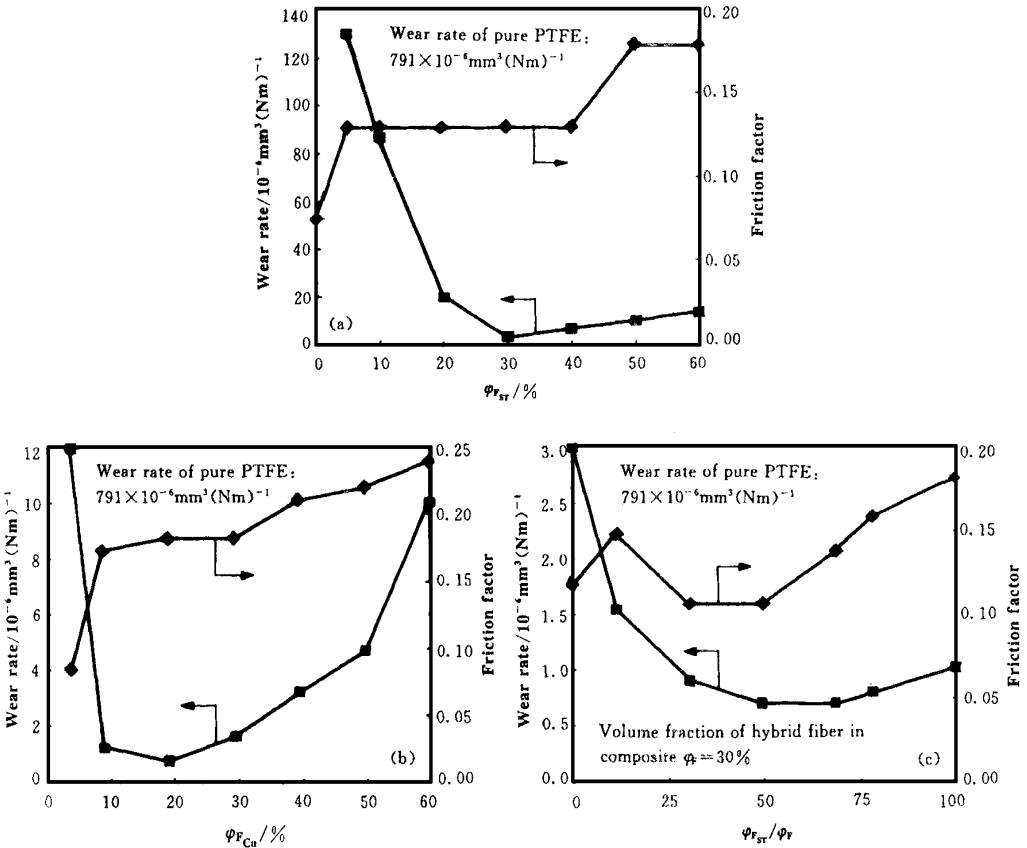


Fig 3 Variation in wear rate and friction factor of metallic fiber filled PTFE-based composite w with volume fraction of fiber

图3 金属纤维增强 PTFE 基复合材料摩擦磨损性能随纤维体积分数变化的关系曲线

处于 5%~40% 之间时, 复合材料的摩擦因数曲线有一平台, 而铜纤维增强是在其体积分数处于 10%~30% 之间时的摩擦因数曲线有一平台; 2 种纤维增强都使 PTFE 的磨损大幅度降低, 钢纤维增强 PTFE 基复合材料的比磨损率只有纯 PTFE 的 $1/500 \sim 1/200$, 而铜纤维增强 PTFE 基复合材料的比磨损率只有纯 PTFE 的 $1/50 \sim 1/350$, 这进一步表明增强纤维支承负荷是其抗磨作用的主要机理之一。

随着纤维含量的增加, 复合材料的比磨损下降, 当降至最低点后, 磨损又随着纤维含量的增加而上升: 钢纤维增强 PTFE 基复合材料的最低点是 $\varphi_{ST} = 30\%$, 铜纤维增强 PTFE 基复合材料的最低点是 $\varphi_{Cu} = 20\%$ 。

由图 3(c) 所示可知: 混杂纤维增强 PTFE 基复合材料的摩擦学性能比单一纤维增强复合材料的更好。当复合材料中混杂纤维的体积分数为 30% 且 φ_{ST}/φ 之比值在 0.30~0.50 之间时的摩擦因数都相当低; 比磨损率曲线随 φ_{ST}/φ 之比值的变化呈 U 字型, 在 φ_{ST}/φ 之比值处于 0.50~0.70 的范围时复合材料具有优异的耐磨性。分析认为, 混杂纤维增强复合材料的磨损率之所以比单一纤维增强复合材料的低, 这是由于钢纤维具有较高的刚度和强度, 铜纤维具有良好的延展性和抗疲劳性, 两者间产生协同效应的缘故。

图 4 是 2 种金属纤维增强 PTFE 基复合材料磨损表面的 SEM 照片, 可见有纤维突出于

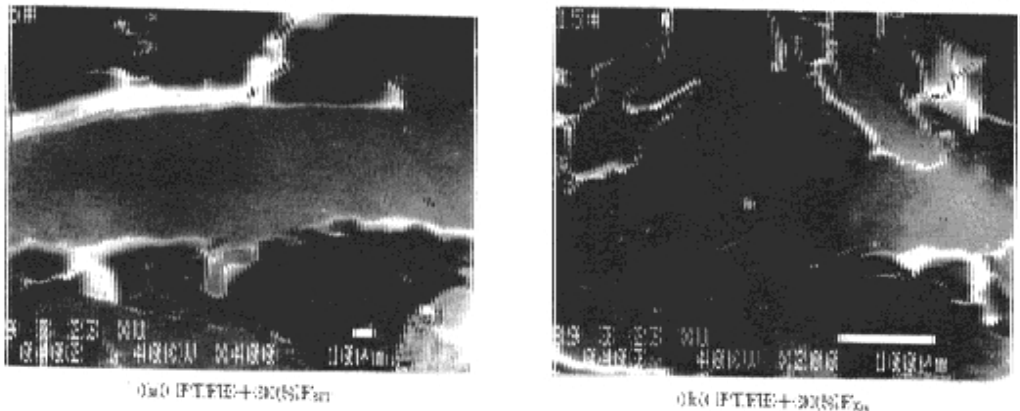


Fig 4 Micrographs of worn surface of PTFE-based composite with metallic fiber

图 4 金属纤维增强 PTFE 基复合材料磨损表面形貌的 SEM 照片

表面, 但由于这些纤维具有良好的导热性, 照片中未显示 PTFE 基体因摩擦热引起的“熔融”现象。分析认为, 复合材料的摩擦过程是金属纤维-转移膜、金属纤维-PTFE-摩擦转移膜、金属纤维-PTFE-偶件反复交替进行的循环过程, 当纤维含量低时, 循环过程加快, 复合材料表现出低摩擦因数和高磨损率, 磨损以基体粘附磨损为主; 纤维含量增加, 金属纤维与偶件的接触增加, 循环过程减缓, 导致摩擦因数上升, 基体的粘附磨损下降, 纤维的疲劳磨损上升, 在较大的摩擦力作用下出现裂纹, 纤维断裂, 发生严重的疲劳磨损而脱落。

由图 4 还可以看出, 在 PTFE 裂纹中有很细的纤维状物互相联系着。研究表明, 这些纤维是从 PTFE 基体中抽出来的, 起源于基体非晶区域内, 填料阻止了这种抽出过程, 避免了带状组织破坏, 减低了磨损, 而且 PTFE 磨屑最初的形状大都是纤维状物^[5]。摩擦过程中产

生的热应力、填料和对偶表面间的挤压作用、摩擦面上的剪切拉伸引起聚合物表层龟裂、拉丝产生这些纤维状物,最终拉断形成带丝的片状磨屑。填料及增强材料的存在抑制了龟裂的扩张,改善了次表面的抗疲劳能力,而且由于填料承受大部分负荷,大大降低了材料的磨损。

3 结论

在给定的试验条件下,2种金属纤维增强都能大幅度降低 PTFE 的磨损,而且钢纤维的增强效果比铜纤维的好,2种纤维混杂增强的效果更好。增强纤维支承负荷、抑制磨损表面龟裂是其改善 PTFE 抗磨性的主要机理。

参 考 文 献

- 1 Briscoe B J, Pooley C M, Tabor D. Friction and transfer of some polymer in unlubricated sliding. In: Lee L H ed. *Advances in Polymer Friction and Wear*. New York: Plenum, 1974. 191~ 204.
- 2 Uchiyama Y, Tanaka K. Formation mechanism of wear particles of polytetrafluoroethylene. In: Ludema K C ed. *Wear of Materials*. New York: ASME, 1985. 397~ 404.
- 3 Gong D, Xue Q, Wang H. Effect of tribochemical reaction of polytetrafluoroethylene transferred film with substrates on its wear behaviour. *Wear*, 1990, 137: 267~ 273.
- 4 Gong D, Xue Q, Wang H. Physical models of wear of polytetrafluoroethylene and its composites. *Wear*, 1991, 147: 9~ 24.
- 5 李同生, 孙守镁, 胡廷永等. 聚四氟乙烯磨损机理的探讨. *摩擦学学报*, 1992, 12(3): 222~ 231.

Study of Friction and Wear Properties of Metallic Fiber Filled PTFE Based-Composite

Yang Shengrong Liu Wein Xue Qunji

(Laboratory of Solid Lubrication Lanzhou Institute of Chemical Physics
the Chinese Academy of Sciences Lanzhou 730000 China)

Zhang Junxiang

(Department of Chemical Engineer

Training School Engineering College of North of China Taiyuan 030008 China)

Abstract The friction and wear properties of metallic fiber filled PTFE-based composite against steel were evaluated with a reciprocating friction tester. Scanning electron microscopy (SEM) were used to study the worn surfaces. It was found that metallic fiber is very effective to reduce wear, the hybrid metallic fiber is the most effective filler in reducing the wear of PTFE. Tests also show that a steel fiber increases slightly the friction factor of composites, while a copper fiber decreases slightly the friction factor. The dominant mechanism of the fiber in reducing wear is the load-supporting action and the resistance of surface fracture of PTFE.

Key words PTFE metallic fiber composite wear mechanism

Classifying number TQ 325.4