

MC 尼龙/无机纳米轴瓦材料的摩擦磨损性能研究^{*}

孙永红 谭寿再 王玫瑰

(广东轻工职业技术学院, 广州 510300)

摘要 以纳米碳酸钙/石墨为增强改性剂制备 MC 尼龙/无机纳米复合轴瓦材料,在自制的摩擦磨损试验机上研究复合材料的摩擦磨损性能,并与普通 MC 尼龙材料作对比试验。结果表明,实验条件的变化影响着 MC 尼龙纳米材料的摩擦磨损行为,随实验压力和对磨速度的增加,摩擦系数和磨损体积都呈现先快速降低而后逐渐上升的趋势。在相同的实验条件下,MC 尼龙纳米材料的摩擦系数和磨损体积均比普通 MC 尼龙的低,当对磨速度和压力分别为 2.1 m/s 和 120 N 时,MC 尼龙纳米材料的摩擦系数和磨损体积分别约为普通 MC 尼龙的 60% 和 17%。干磨时,MC 尼龙纳米材料的磨损体积约为水润滑时的 25 倍。

关键词 MC 尼龙 无机纳米材料 摩擦磨损 轴瓦

以工程塑料代替金属用于制造机械设备,对于减轻质量、降低成本、节约日渐枯竭的矿产资源、提高经济性和保护地球环境等具有重要意义,已成为机械制造和材料工业研究发展的主要方向^[1]。

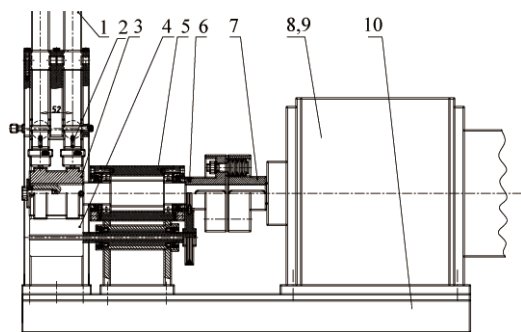
MC 尼龙是一种新型的工程塑料,它是在常压下将熔融的单体用强碱性物质作催化剂,与活化剂等助剂一起,直接浇注到预热到一定温度的模具中聚合而成的。MC 尼龙分子量大,结晶度高,成型收缩率和吸水率小,冲击强度、耐摩擦和耐磨损性较普通尼龙好,而且成型加工设备及模具简单,可以直接浇注成型各种形状的制品或者坯件。在无润滑剂条件下,MC 尼龙的摩擦系数比青铜小得多,且具有一定的强度,硬度低,不会损伤对磨件,耐酸、碱、油性及耐冲击性均好,因此在很多场合下已代替铜用于制作轴瓦、轴套等零部件。但是与金属相比,MC 尼龙存在强度、模量和热变形温度较低,吸水率大,尺寸稳定性较差等缺点,因此,MC 尼龙的使用范围受到限制^[2]。近年来,以纳米材料为增强体的复合材料受到人们的普遍关注^[3~4]。纳米材料具有独特的小尺寸效应、表面效应等特性,显示出许多常规材料不可能具有的性能,克服了传统填料含量高、加工性能差、各种性能不能兼顾的缺点。目前以纳米材料改性 MC 尼龙的研究已有不少报道,但采用较多的是单一组分纳米粉体,而多组分无机纳米材料协同增强的报道极少^[5~6]。纳米碳酸钙是我国产量最大、制造工艺最成熟、在高分子材料中应用最广的一种廉价的无机纳米材料,少量的纳米碳酸钙能改善聚合物的基体结构,提高复合材料的力学性能^[7]。胶体石墨是一维尺寸在 1~100 nm 的鳞片状晶体,石墨的导电性比一般非金属矿物高 100 倍,导热性

超过钢、铁、铅等金属材料,是传统的减磨润滑材料^[8]。笔者以纳米碳酸钙/石墨为增强改性剂制备 MC 尼龙/无机纳米复合轴瓦材料,研究了复合材料的摩擦磨损性能。

1 实验部分

1.1 实验装置

图 1 为自制的摩擦磨损试验机简图,采用了弹簧加载装置。因试样磨损量相对弹簧的变形很小,正压力的变化不到 1%,因而正压力可近似认为恒定。正压力和摩擦力值分别由压力表和压力传感器的数显屏表中直接读出。



1—弹簧施压装置; 2—试样; 3—对磨轮; 4—清洗刷轮;

5—砂轮支座; 6—传动带; 7—联轴器; 8,9—调速电机; 10—底座

图 1 摩擦磨损试验机简图

当测试轮直径相对试棒直径大很多时,可以近似认为接触部位是平面接触。本装置中试棒直径为 5 mm 时(见图 2),相对平面情况仅差 0.08 mm,整个摩擦面的相对滑动粗略认为是一种均一直线运动。对磨轮为 45 号钢,直径为 80 mm,热处理后的

^{*} 广东省科技工业攻关项目(2004B10301031)

收稿日期:2007-06-20

硬度为 HRC40 ~45, 表面粗糙度 $Ra = 0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

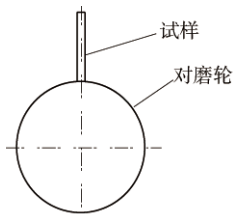


图2 摩擦副结构

1.2 试样制备

图3为试样坯料的制备工艺流程图。其工艺要点是:①控制好真空脱水环节,反应物的水分含量必须减少到30 mg/kg以下。②加入催化剂NaOH后,熔融料须保持沸腾反应,温度控制在135~140℃。③加入助催化剂TDI须搅拌均匀,并快速加入预热的模具中,完全聚合20~30 min后关闭电热源,自然冷却至室温后脱模。④加热烘箱及模具须预热至170~175℃并恒温。⑤制备MC尼龙/纳米碳酸钙/石墨复合材料试样,在抽真空脱水的同时,需进行超声波振荡并搅拌处理。

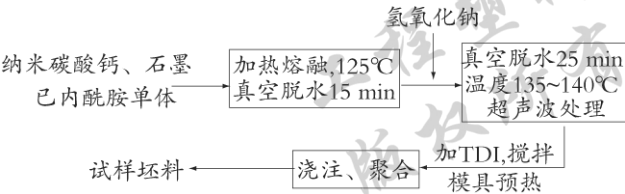


图3 复合材料制备工艺流程图

按浇注成型工艺分别制备MC尼龙和MC尼龙/纳米碳酸钙/石墨三元复合材料的棒状坯料,其配方为:己内酰胺100份(质量份,下同),催化剂0.17份,纳米碳酸钙2份,石墨0.4份,助催化剂0.4份,用车削方法制备相应的测试试样,试样的规格为5 mm ×39 mm。其主要性能见表1。

表1 试样材料的主要性能

项目	MC 尼龙	MC 尼龙/纳米碳酸钙/ 石墨复合材料
拉伸强度/MPa	74.7	80.2
断裂伸长率/%	30.3	9.4
压缩强度/MPa	102.4	104.4
弯曲强度/MPa	97.9	129.1
弯曲弹性模量/GPa	2.8	3.7
硬度(HRM)	79.7	86.8
冲击强度/kJ·m ⁻²	16.2	13.3
密度/g·cm ⁻³	1.15	1.17

1.3 试验方案

试验前将试样的测试面用600[#]砂纸磨平,用丙酮清洗试样和对磨轮,试样晾干并称重;然后将试样

和对磨轮装入磨损试验机,分别考察材料在不同压力和转速下的摩擦磨损性能。试验时间为120 min,动态记录摩擦力。在刚开始的10~20 min,由于摩擦还没进入稳定状态,读数波动较大,故取最后10 min内的平均值作为稳态摩擦力值,通过公式(1)计算摩擦系数 f 。试验完成后取下试样,经丙酮清洗后晾干,用感量为0.1 mg的电子分析天平称量试样,按公式(2)计算磨损体积 ΔV 。

$$f = F/N \tag{1}$$

式中: f ——摩擦系数;

F ——摩擦力, N;

N ——正压力, N。

$$\Delta V = 1000 \Delta m / \rho \tag{2}$$

式中: V ——磨损体积, mm³;

Δm ——磨损质量, g;

ρ ——密度, g/cm³。

每个试验做3次重复试验,数据取平均值。

2 结果与讨论

2.1 压力对摩擦磨损性能的影响

图4、图5分别为水润滑、对磨速度2.1 m/s条件下试样的摩擦系数、磨损体积随压力变化的曲线。由图4、图5可知,在试验数据范围内,MC尼龙纳米材料的摩擦系数和磨损体积均比普通MC尼龙的小;随压力的增大,摩擦系数降低,磨损体积先减少后增加,出现突变现象。在压力为120 N时,材料的摩擦系数有最低值,而这时MC尼龙纳米材料的

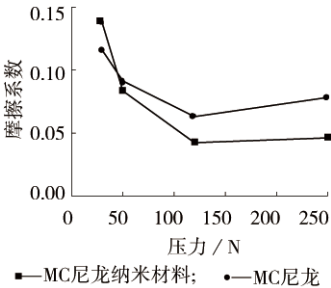


图4 试样的摩擦系数随压力变化的曲线

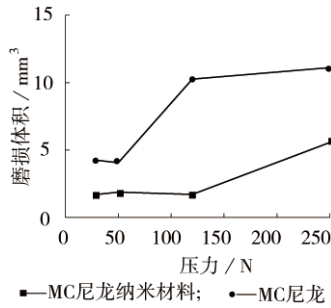


图5 试样的磨损体积随压力变化的曲线

摩擦系数和磨损体积分别约为普通 MC 尼龙的 60% 和 17%。

发生上述情况的原因是: MC 尼龙纳米材料试样中的胶体石墨是鳞片状晶体, 有良好的润滑性和导热性, 在对磨过程中, 石墨容易向对磨轮表面转移, 在界面形成稳定的转移膜, 减少了材料基体与对磨轮直接接触, 并且快速传导基体的摩擦热, 使得摩擦系数降低。而纳米碳酸钙的强度和硬度都比 MC 尼龙基体的高, 在摩擦过程中, 首先承受对偶副间的载荷, 从而降低了聚合物基体的磨损。

在水润滑的条件下, 当试样承受的压力较低时, 不足以引起试样基体较大的塑性变形, 试样与对磨轮的接触面积较小, 处于边界润滑状态, 因而摩擦系数较大, 而磨损体积变化不明显。随着载荷的增大, 试样塑性变形增大, 与对磨轮的实际接触面积增大, 导致单位面积上承受的压力反而减小, 同时形成良好的水膜润滑界面, 因而降低了摩擦系数。水除了加强界面的冷却与润滑外, 同时也使试样因吸收水分而导致局部性能弱化, 当压力继续增大时, 摩擦界面产生的摩擦热使得 MC 尼龙局部熔融而发生剧烈磨损, 因此出现磨损体积突然增大现象。

2.2 对磨速度对摩擦磨损性能的影响

图 6、图 7 分别为水润滑、压力 120 N 条件下试样的摩擦系数、磨损体积随对磨速度变化的曲线。

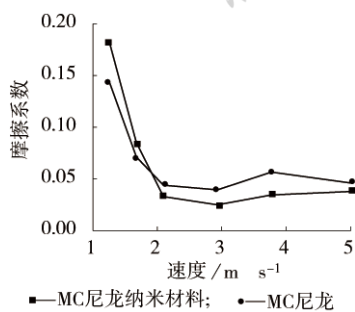


图 6 试样的摩擦系数随对磨速度变化的曲线

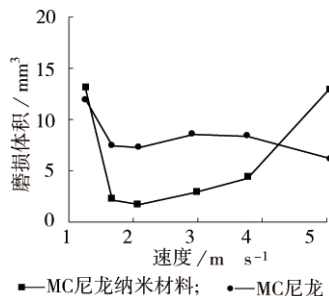


图 7 试样的磨损体积随对磨速度变化的曲线

由图 6 可知, 在试验数据范围内, 试样的摩擦系数随着对磨速度的增加而快速降低, 当速度约为 3

m/s 时有最低值, 这时 MC 尼龙纳米材料的摩擦系数约为普通 MC 尼龙的 60%, 随后呈上升趋势。

由图 7 可知, 随对磨速度的增加, 试样的磨损体积出现先降后升的变化趋势。当速度为 2.1 m/s 时, MC 尼龙纳米材料的磨损体积最小, 然后随速度的增加逐渐增大; 当速度超过 3 m/s 时, 普通 MC 尼龙的磨损体积随速度的增加而降低。

发生上述情况可能因为速度较低时, 清洗轮刷带到对磨轮上的水量少, 在对磨界面未能形成水膜层, 润滑较差, 因此摩擦系数高、磨损体积大。随着速度的增大, 试样与对磨轮界面间形成良好的润滑水膜或石墨润滑膜, 使摩擦系数和磨损体积快速降低。当对磨速度继续增大时, 试样因快速的摩擦而产生较多的摩擦热, 使试样的弹性变形较大, 故摩擦系数和磨损体积略有上升。对磨速度进一步增大时, 在试样与对磨轮界面间形成较厚的水膜层, 并由于水膜楔形的承托效应, 使普通 MC 尼龙试样与对磨轮的接触面减小, 因此出现摩擦系数和磨损体积降低的趋势。但对于 MC 尼龙纳米材料试样, 由于在较低的速度下, 磨屑中的石墨在 MC 尼龙的磨损表面形成优良的润滑膜使得磨损体积降低; 当速度太大时, 因水流的影响, 石墨被带入水中, 破坏了界面的石墨润滑层, 极性纳米碳酸钙也受水的影响, 致使 MC 尼龙纳米材料的磨损体积先随速度的增大而减小, 然后又随速度的增大而增大。

2.3 润滑条件的影响

图 8、图 9 是压力为 120 N、对磨速度 2.1 m/s 时 MC 尼龙纳米材料试样分别在干磨和水润滑条件下对摩擦系数和磨损体积的影响曲线。

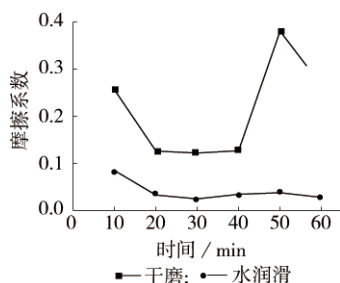


图 8 MC 尼龙纳米材料试样在干磨和水润滑条件下对摩擦系数的影响曲线

从图 8 可见, 在干磨时试样的摩擦系数随摩擦时间的延长而降低, 当干磨到 40 min 时, 试样因激烈发热而使摩擦系数突然升高, 甚至对磨轮停止转动; 而在水润滑条件下, 试样的摩擦系数变化不大。在相同的实验条件下, 干磨的磨损体积约是水润滑

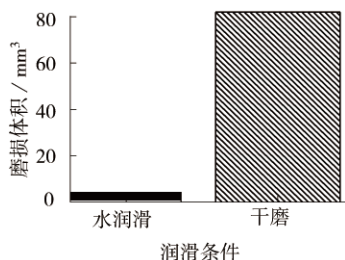


图9 MC 尼龙纳米材料试样在干磨和水润滑条件下对磨损体积的影响曲线

的25倍。

发生上述情况的原因是:刚启动时,试样和磨轮之间有一部分粗糙峰因接触压力的作用而使两表面间直接接触,因而摩擦系数较高;随着运行时间的延长,粗糙峰消失,同时试样与对磨轮因摩擦热而导致试样表面融化,石墨向对磨轮转移,在界面形成润滑膜,故摩擦系数随之降低。当干磨时,摩擦热随着运转时间的延长而使试样温度快速升高,MC 尼龙基体融化,失去对纳米碳酸钙的粘接力,造成碳酸钙大量脱落,在摩擦界面形成多元磨粒磨损局面,使摩擦力激增,对磨轮转动困难,而水润滑条件下则可避免此情况。

3 结论

(1) MC 尼龙纳米材料的摩擦系数和磨损体积与实验条件密切相关,当实验压力和对磨速度增加时,摩擦系数和磨损体积都呈先快速降低而后逐渐

上升的趋势。

(2) 在相同的实验条件下,MC 尼龙纳米材料的摩擦系数、耐磨性明显优于普通 MC 尼龙。当对磨速度和压力分别为 2.1 m/s 和 120 N 时,MC 尼龙纳米材料的摩擦系数和磨损体积分别约为普通 MC 尼龙的 60% 和 17%。

(3) 润滑冷却方式对 MC 尼龙纳米材料的摩擦磨损性能影响非常明显,干磨时,MC 尼龙纳米材料的磨损体积约为水润滑的 25 倍。因此,保持良好的润滑和冷却是提高轴瓦材料耐磨性的关键。

参考文献

- [1] 罗道友.我国工程塑料及合金的市场与技术开发热点[J].新材料产业,2001(6):21-25.
- [2] 谭寿再,王玫瑰,孙永红.MC 尼龙的改性研究[J].广东轻工职业技术学院学报,2006,5(2):1-4.
- [3] 蒋美丽.高分子材料的纳米技术改性与应用[J].塑料科技,2004,32(5):34-38.
- [4] 李强,林薇薇,宋春芳.聚合物基纳米复合材料的合成、性质及应用前景[J].材料科学与工程,2002,20(1):107-110.
- [5] 谭寿再,王玫瑰,孙永红,等.MC 尼龙/OMMT 纳米复合材料的研制[J].工程塑料应用,2006,34(11):4-8.
- [6] 黄丽丹,林志勇,钱浩,等.MC 尼龙 6/纳米 TiO₂ 原位纳米复合材料性能研究[J].塑料工业,2005,33(1):6-18.
- [7] 陆玉本,吴兆权,姜苏俊,等.聚合物/纳米 CaCO₃ 复合材料研究进展[J].塑料工业,2002,30(3):21-23.
- [8] 黄仁和,王力.纳米石墨薄片及聚合物/石墨纳米复合材料制备与功能特征研究[J].功能材料,2005,36(1):6-10.

STUDY ON FRICTION AND WEAR BEHAVIORS OF MC NYLON/INORGANIC NANOCOMPOSITES FOR BUSHING

Sun Yonghong, Tan Shouzai, Wang Meigui

(Guangdong Industry Technical College, Guangzhou 510300, China)

ABSTRACT MC nylon/inorganic nanocomposites for bushing were prepared with nano-CaCO₃ and graphite as intensifier and modifier. Friction and wear behaviors of composites were studied by using self-made test-bed for friction and wear, and the behaviors were compared with those of common MC nylon materials. The results showed that test conditions affected the friction and wear behaviors of MC nylon nanocomposites. With the increase of experimental pressure and velocity, the friction coefficient and wear volume of MC nylon nanocomposites decreased at first and increased afterwards. When the velocity and pressure were respectively 2.1 m/s and 120 N, the friction coefficient and wear volume of MC nylon nanocomposites were respectively about 60% and 17% of those of common MC nylon materials. The wear volume of MC nylon nanocomposites without lubrication was about 25 times of that of nanocomposites under water lubrication.

KEYWORDS MC nylon, inorganic nano material, friction and wear, bushing

河南神马集团尼龙 66 盐项目年底投产

河南神马集团自去年开始建设的 20 万 t 尼龙 66 盐项目将于明年年初建成投产。届时,项目包括的 10 万 t 己二酸装置将正式开工。该套项目建设总投资为 14.16 亿元,包括新建 4.5 万 t 的己二胺装置、10 万 t 己二酸装置、7 万 t 环己

醇装置、6.5 万 t 精苯装置、15 万 t 硝酸装置和 10 万 t 成盐装置。项目建成后,神马集团将达到 30 万 t 的尼龙 66 盐生产规模。神马集团现有的己二酸生产技术,属于技术密集和资金密集行业,其中间产品己二酸自投放市场以来,建立了良好的市场形象。
(中国工程塑料网)