

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.04.009

导热填料对 EP/SiC/CF 复合材料摩擦层热性能的影响^{*}

曹伟伟^{1,2}, 龙国荣³, 朱波⁴, 朱文韬³, 卞志勇¹, 杨小兵¹

(1.泰山体育产业集团有限公司,山东德州 253600; 2.天津工业大学材料科学与工程学院,天津 300387; 3.国家体育用品工程技术研究中心 山东德州 253600; 4.山东大学材料科学与工程学院,碳纤维工程技术中心,济南 250061)

摘要: 为了提高竞技用自行车的制动性能,先将环氧树脂(EP)和碳化硅混合制备了改性树脂,利用浸渍-模压法制备了一种用于自行车轮圈刹车部位的 EP/SiC/碳纤维(CF)复合材料摩擦层样品,利用自制的热导率测试装置研究了导热填料的含量对摩擦层样品的热性能影响,并且对摩擦层样品的厚度规格参数进行了优化。结果表明,摩擦层样品随着时间的增加,表面温度逐渐升高达到平衡;随着改性树脂中导热填料的含量增加,摩擦层样品平衡温度升高,且升温速率下降加快;摩擦层样品的高温热导率随着填料含量的增加而增大,不同厚度摩擦层样品的定值升温时间/厚度的比值不同。综合考虑,改性树脂中导热填料质量分数为 6%、厚度为 0.5 mm 的复合材料摩擦层适用于复合材料自行车轮圈的刹车结构。

关键词: 环氧树脂/碳纤维复合材料;摩擦层;热导率;自行车轮圈**中图分类号:** TQ327.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)04-0036-04

Influence of Heat Conduction Filler on Thermal Performance of EP/SiC/CF Composite Frictional Layer for Bicycle Wheel

Cao Weiwei^{1,2}, Long Guorong³, Zhu Bo⁴, Zhu Wentao³, Bian Zhiyong¹, Yang Xiaobing¹

(1.Taishan Sports Industry Group, Dezhou 253600, China; 2.Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China; 3.National Sports Goods Engineering Research Center, Dezhou 253600, China; 4.School of Materials Science and Engineering, Jinan 250061, China)

Abstract: In order to improve the braking performance of competitive bicycle, firstly, the modified resin was prepared by mixing the epoxy resin(EP) and silicon carbide(SiC), and the frictional layer sample of EP/SiC/carbon fiber (CF) composite for the braking part of bicycle wheel was made by immersion and mould pressing methods, and the influence of heat conduction filler on the thermal performance of the composite frictional layer sample was studied by using the thermal conductivity testing device made byself, also the thickness of frictional layer was optimized. The results show that the surface temperature of frictional layer sample gradually increases and reaches the balance with the time increasing, the equilibrium temperature of the composite frictional layer increases with the content of heat conduction filler in the modified resin increasing and the decrease of heating rate speed up. The thermal conductivity of the composite frictional layer on high temperature condition increases with the content of filler increasing, and the specific value of heat rising time and thickness is different with the thickness. Overall consideration, the 0.5 mm thickness composite frictional layer of bicycle wheel with 6% filler in the modified resin is suitable for the manufacture of braking structure of composite bicycle wheel.

Keywords: epoxy resin/carbon fiber composite; frictional layer; thermal conductivity; bicycle wheel

公路竞技用复合材料自行车在其高速骑行过程中的制动性能对于运动员的安全保障具有重要意义,而自行车轮圈在刹车过程中,轮圈刹车摩擦部位的复合材料会与闸皮接触而产生大量的热,如果轮圈刹车的复合材料摩擦层热性能不佳,就会导致轮圈整体结构破坏,因此研究提高自行车轮圈刹车部位复合材料摩擦层的热性能成为提高自行车轮圈质量的关键工作^[1-3]。

基于此,笔者从高导热的设计思路出发,采用

特种碳化硅填料研制一种公路竞技用自行车轮圈的导热型复合材料摩擦层,利用自制的热导率测试装置,对轮圈复合材料摩擦层样品进行了导热性能研究,分别确定了高导热型复合材料摩擦层的改性工艺和适用厚度,为提高竞技用自行车复合材料轮圈的制动性能提供了工艺基础和设计思路。

^{*} 中国博士后基金资助项目 (2012M511544)

联系人: 曹伟伟, 博士, 主要从事树脂基碳纤维复合材料研究

收稿日期: 2014-01-13

1 实验部分

1.1 主要原材料

二氨基二苯甲烷耐高温环氧树脂 (EP): 泰山体育产业集团有限公司;

固化剂: 二氨基二苯砒, 上海三爱思试剂有限公司;

导热填料: 微米级碳化硅粉末, 北京德科岛金科技有限公司;

高强型碳纤维 (CF) 平纹布: T700 型, 100 g/m², 山东大学碳纤维工程技术研究中心。

1.2 复合材料摩擦层样品制备

(1) 改性树脂的配制。

将 EP 加热到 70℃ 预热 30 min, 然后向其加入微米级碳化硅粉末填料, 机械搅拌 20 min, 依据摩擦层的结合强度的要求, 加入的碳化硅导热填料在改性树脂的质量分数分别为 1%, 3%, 6%, 将改性树脂加热到 130℃ 之后在体系中向其加入 55~60 份固化剂, 继续加热搅拌 30 min 后快速冷却备用。

(2) 改性树脂预浸料的制备。

按照 EP 质量分数为 40%、CF 质量分数 60% 的比例制备预浸料。制备过程为: 将高温加热板预热至 140℃, 首先将 CF 平纹布平整固定于热板之上, 然后将称量好的改性树脂置于预热后的 CF 平纹布上, 利用小型金属刮板将熔化后的改性树脂均匀涂布后, 将预浸料冷却至室温备用。

(3) CF 增强改性树脂复合材料摩擦层样品的制备。

将不同含量填料改性的预浸料按照模具尺寸剪裁成 100 mm × 100 mm 的正方形片, 根据尺寸及质量要求选取一定数量的预浸料片叠层放入金属模具内, 利用液压机进行模压实验, 成型压力 5 MPa, 保压时间 2 h。压制后的复合材料摩擦层样品用去离子水清洗后, 干燥备用, 样品规格为 100 mm × 100 mm × 3 mm。根据改性树脂中填料质量分数的不同 (1%, 3%, 6%) 依次将复合材料摩擦层样品编号为 SIC1、SIC3 和 SIC6。

1.3 热导率的测试与表征

(1) 热导率测试装置的制备。

参考文献 [4] 自制了一套热导率简易测试装置, 试验装置如图 1 所示, 由上下相同的两个铁板组成, 铁板中央有一个 100 mm × 100 mm 的凸台, 测试时将样品放置在凸台上, 通过 4 个螺丝来固定上下两个铁板, 使得样品与凸台紧密结合不留缝隙。

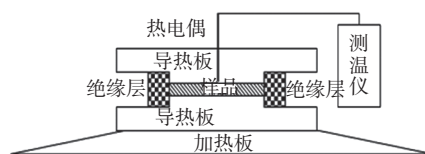


图1 自制热导率测试装置

通过上铁板的小孔, 可以利用热电偶检测上铁板内部的温度, 以此减少上铁板因为和空气接触所带来的温度的降低, 从而减少了测试的误差。

(2) 热导率的测试。

将制好的复合材料摩擦层样品夹在上下铁板中, 利用平板电炉恒温加热, 记录上铁板温度随时间的变化。测试原理如图 2 所示。

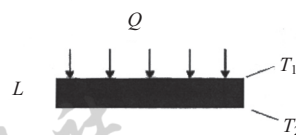


图2 热导率测试原理

根据傅里叶传导方程^[4], 设热源和上铁板的温度分别为 T_1 和 T_2 , 样品厚度为 L , 面积为 S , 在 Δt 时间内通过样品的热量 ΔQ 符合以下方程:

$$\Delta Q / \Delta t = [\lambda \times (T_1 - T_2) \times S] / L \quad (1)$$

由此可以得到热导率 λ 的计算公式:

$$\lambda = (\Delta Q \times L) / [\Delta t \times (T_1 - T_2) \times S] \quad (2)$$

依据本装置可知, 下铁板为高温铁板, 直接与热源接触温度基本恒定, 热量 Q 从下温板传给试样 $Q_{\text{试样}}$ 和上温板 $Q_{\text{上温板}}$, 并且有一部分热量损失 $Q_{\text{损}}$, 在上温板的温度上升到 T_x 的过程中有:

$$\Delta Q = Q_{\text{试样}} + Q_{\text{上温板}} + Q_{\text{损}} = (T_x - T_0) \times m_{\text{试样}} \times C_{\text{试样}} + (T_x - T_0) \times m_{\text{上温板}} \times C_{\text{上温板}} + Q_{\text{损}} = (T_x - T_0) \times (m_{\text{试样}} \times C_{\text{试样}} + m_{\text{上温板}} \times C_{\text{上温板}}) + Q_{\text{损}} \quad (3)$$

观察以上的公式可以发现, 只要知道了样品和不锈钢测试板的比热容参数即可计算出样品的 λ 。

2 结果与讨论

2.1 复合材料摩擦层的时间-温度变化

图 3 为不同碳化硅填料含量下, 复合材料摩擦层的温度随时间的变化关系。从图 3 可以发现, 随着时间的增加, 样品的表面温度均不断升高并最终达到平衡温度; 同时可以看出, 在相同升温时间下, 随着碳化硅填料含量的增加, 样品达到平衡点的温度在逐渐提高, 其中样品 SiC6 的平衡温度最高, 当改性树脂中导热填料碳化硅的质量分数达到 6% 时, 复合材料摩擦层样品 SiC6 平衡时的温度可以达到 230℃ 左右。

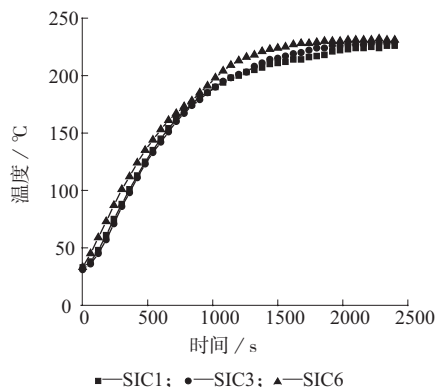


图3 复合材料摩擦层样品的温度-时间变化

2.2 复合材料摩擦层的时间-升温速率关系

对图3中的时间-温度曲线进行多项式拟合并求微分^[4],可以得到不同复合材料摩擦层样品的升温速率随时间的变化曲线,如图4所示。从图4的变化可以看出,随着时间的增加样品的升温速率会逐渐降低,这是因为随着上铁板温度的增加,铁板向空气散发热量的速度越来越快,所以表观上可以测得的升温速率就会下降为零,整个体系趋向于平衡状态;同时还可以看出,随着碳化硅填料含量的增加,升温速率降低加快,其中SiC6摩擦层样品的升温速率降低最快,这说明热源和上温板达到平衡时所需的时间缩短。当改性树脂中碳化硅填料质量分数为6%时,复合材料摩擦层样品具有较高的热传导性能,这有利于提高复合材料摩擦层样品达到热平衡的速度。

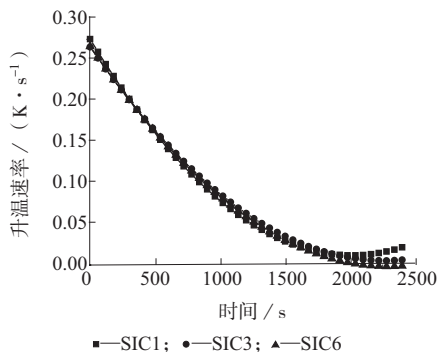


图4 复合材料摩擦层样品的升温速率随时间的变化曲线

2.3 复合材料摩擦层的温度-热导率关系

图5为不同填料含量的复合材料摩擦层样品的热导率随温度的变化曲线。由图5可以看出,不同填料含量的复合材料摩擦层样品的热导率随着测试温度的提高均呈现先增加后降低的趋势,其峰值温度均出现在200~250℃之间,在高温范围内出现的热导率数值的急剧降低是由于测试系统处于相对敞开的环境,热量散失较多,因此出现高温区热导率

数据的降低。在同一测试温度下发现,随着改性树脂中碳化硅填料含量的增加,复合材料摩擦层的热导率逐渐增大。在高温环境下,样品SIC1的热导率在0.6~0.7 W/(m·K),而当改性树脂中填料质量分数达到6%时,样品的热导率达到0.9 W/(m·K)左右,这说明碳化硅填料含量的增加对于复合材料摩擦层整体导热性能的提高起着非常关键的作用。因此确定改性树脂中碳化硅填料的质量分数为6%,以此作为复合材料摩擦层材料的制备首选参数。

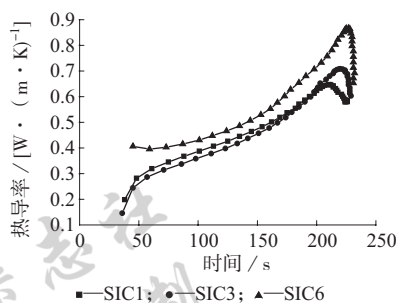


图5 复合材料摩擦层样品的热导率随温度的变化曲线

由于加入的碳化硅填料含量较低,可以用经典的Maxwell方程进行碳纤维布层间的改性环氧树脂基体的导热机理分析^[5-8]。由Maxwell方程可知:

$$\lambda_c = \lambda_1 \left[\frac{\lambda_2 + 2\lambda_1 + 2V_2(\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_2 + 2\lambda_1 - 2V_2(\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \quad (4)$$

式中: λ_c ——改性树脂的热导率;

λ_1 ——EP的热导率;

λ_2 ——碳化硅填料的热导率;

V_2 ——碳化硅填料在改性树脂中的含量。

根据文献[4]可知,碳化硅的热导率[6.28~9.63 W/(m·K)]远大于EP的热导率[0.211 W/(m·K)],因此Maxwell方程中的 $\lambda_2 - \lambda_1$ 为正值,由式(4)可知,随着碳化硅填料含量 V_2 的不断增加,改性树脂的 λ_c 呈现上升的趋势,填料的引入增加了CF布层与层之间的热传导性能。但如果碳化硅填料含量过大,又会造成树脂基体与CF布之间结合力的降低,因此填料含量需要控制在较低的水平,同时要发挥其高导热特性。

2.4 复合材料摩擦层的厚度尺寸确定

复合材料自行车轮圈的摩擦层在面内方向上的导热性主要由CF布决定,确保其热量可以在轮圈面内迅速散失,而垂直于层面方向上的热传导主要由导热填料来控制。在此基础上,还需要考虑摩擦层厚度的选择,由于自行车轮圈尺寸的限定,摩擦

层整体厚度不能超过 1.5 mm,同时最终厚度的确定需要根据达到规定温度所需的时间来确定。不同厚度的 SIC6 样品升温至 100℃所需时间如表 1 所示。

表 1 不同厚度的 SIC6 样品的升温时间

厚度/mm	到达 100℃所需时间/s
0.5	22
1	31
1.5	61

由表 1 可知,随着样品 SIC6 的厚度增加,到达 100℃所需要的时间也会增加,但两者之间不成正比关系,如图 6 所示。由图 6 可以清楚地看到,样品升温到 100℃所需时间与厚度的曲线为折线形。通过对比发现 0.5 mm 厚度的 SIC6 样品的所需升温时间与厚度的比值是最大的,这说明在单位厚度下该样品在垂直纤维铺层方向上的定值升温时间最长。

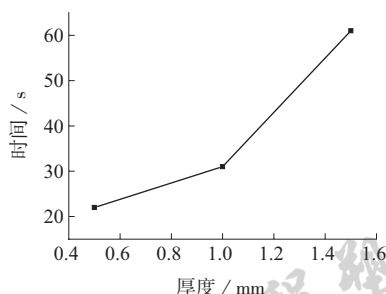


图 6 SIC6 摩擦层样品厚度与升温的关系曲线

3 结论

(1) 随着时间的增加,不同碳化硅填料含量的复合材料摩擦层的表面温度均不断升高并最终达到平衡温度;相同时间下随着改性树脂中碳化硅填料含量增加,平衡温度逐渐提高。改性树脂中填料质量分数为 6% 的复合材料摩擦层样品可以获得较高的平衡温度。

(2) 随着时间增加高导热复合材料摩擦层样品的升温速率逐渐降低,随着碳化硅填料含量增加,升温速率降低加快,改性树脂中填料质量分数为 6% 的复合材料摩擦层样品的升温速率降低最快。

(3) 热导率随温度提高呈现先增加后降低的趋

势,其峰值温度均出现在 200~250℃之间,改性树脂中填料质量分数达到 6% 时,复合材料摩擦层的热导率达到 0.9 W/(m·K)。

(4) 复合材料摩擦层厚度对复合材料升温时间有较大影响,厚度为 0.5 mm、改性树脂中碳化硅填料质量分数为 6% 时改性的 EP/CF 复合材料摩擦层升温至 100℃所需时间与厚度的比值最大,可作为摩擦层复合材料自行车轮圈刹车材料。

参考文献

- [1] 严备战. 碳纤维复合材料在自行车上的应用[J]. 中国自行车, 2010(9):12-14.
Yan Beizhan. The application of carbon fiber composite in the bicycle[J]. China Bicycle, 2010(9):12-14.
- [2] 陈坚, 李树华, 戴维盛, 等. 碳纤维自行车产品的特点及其质量问题[J]. 中国自行车, 2007(4):32-34.
Chen Jian, Li Shuhua, Dai Weisheng, et al. The characteristics and quality problem of carbon fiber bicycle[J]. China Bicycle, 2007(4):32-34.
- [3] 江国强. 名为“MACH1VIA 30”的轻量化自行车车圈[J]. 中国自行车, 2008(5):63.
Jiang Guoqiang. Named by “MACH1VIA 30” lighte-weighting bicycle wheel[J]. China bicycle, 2008(5):63.
- [4] 闫刚. 环氧树脂基复合材料导热性研究[D]. 西安:西北工业大学, 2006.
Yan Gang. The study on thermal conduction of epoxy resin matrix composites[D]. Xi'an:Northwestern Polytechnical University, 2006.
- [5] 阎守胜. 固体物理基础[M]. 北京:北京大学出版社, 2003.
Yan Shousheng. Foundation of solid state physics[M]. Beijing:Beijing University Press, 2003.
- [6] Alsina O L S, Carvalho L H de, Filho F G R. Thermal properties of hybrid lignocelluloseSiC fabric-reinforced polyester matrix composites[J]. Polymer Testing, 2005, 24(1):81-85.
- [7] Agari Y, Uno T. Estimation on thermal conductivities of filled polymer[J]. Appl Polym Sci, 1986, 32:5 705.
- [8] Progelhof R C, Throne J L, Ruetsch R R. Methods for predicting thermal conductivity of composite systems:A review[J]. Polymer Engineering and Science, 1976, 16(9): 615-625.

厦门启动千家万台注塑机节能改造

近日,厦门市注塑工业协会表示厦门市千家万台注塑机伺服节能改造控制系统试点已启动,由此拉开福建省内注塑机节能改造的序幕。厦门是继广东东莞和湖北武汉之后,国内第三个启动千台注塑机节能改造的城市。

厦门市注塑工业协会会长说,通过引入伺服节能改造技术,注塑机最高可实现 40%~50% 的节电效果,满负荷生产情况下一年左右就可收回改造成本,而且还具有提高设备生产精度,降低生产噪音,减少液压油的老化消耗等附加效益。

为了推动注塑生产企业对注塑机进行节能改造,厦门对委托节能改造公司进行注塑机节能改造的企业,按照项目完工后实现的年节能量给予每吨标准煤 500 元的一次性补助;企业自主投资开展注塑机节能改造的,每节约 1 吨标准煤也可以拿到 350 元的一次性补助等相关补助政策。

据不完全统计,目前厦门有注塑机生产企业近 900 家,注塑机保有量近万台。会长说,2014 年要完成 500 台的改造目标,2015 年 1000 台、2016 年 1500 台,总计是 3000 台的改造目标。(慧聪网)