复合材料学报 第18卷 第2期 5月 2001年
ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Vol. 18 No. 2 May 2001

文章编号: 1000-3851(2001)02-0050-04

碳纤维/芳纶浆粕摩阻复合材料初步研究

郭洪涛, 张佐光, 仲伟虹, 李 敏
(北京航空航天大学 材料科学与工程学院, 北京 100083)

摘 要: 以丁晴橡胶改性酚醛树脂为基体,以碳纤维和芳纶浆粕为增强材料,研究了组分含量不同时的摩擦磨损性能。通过试验揭示了组分含量对摩擦磨损性能影响的规律,同时优化了具有良好耐热性、冲击韧性和摩擦性能新型无石棉摩阻复合材料的组分含量。

关键词: 复合材料; 碳纤维; 芳纶浆粕; 摩阻材料
中图分类号: TB332 **文献标识码:** A

STUDY ON THE CARBON FIBER/ARAMID PULP FRICTION COMPOSITES

GUO Hong-tao, ZHANG Zuo-guang, ZHONG Wei-hong, LI Min
(School of Materials Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The tribological characteristics of carbon fiber/Aramid pulp reinforced modified phenolic were investigated in this paper. The influence of the component on properties was found. Simultaneously, testing results showed that this hybrid composite has excellent tribological performance.

Key words: composites; carbon fiber; Aramid pulp; friction material

摩阻复合材料一般由基体(粘接剂)、增强纤维和摩擦性能调节剂(填料)三部分构成。传统摩阻复合材料的增强纤维主要是石棉。

由于石棉对人体健康有害且高温摩擦性能较差,逐渐被淘汰,一些国家已立法禁止使用石棉纤维。当前汽车刹车片使用的摩阻材料多为半金属摩阻材料,如金属纤维增强的和粉末冶金的。但它也有较明显的缺点:易生锈、易刮伤对偶且噪音很大。因此,很有必要研制新型摩阻材料以克服这些不足同时进一步提高摩擦性能。

目前国内外已进行了碳纤维/钢纤维、玻璃纤维/有机纤维、钢纤维/芳纶混杂等研究,取得了较好的效果。碳纤维具有比强度高、比模量高、耐热、耐磨、耐腐蚀及热膨胀系数较适宜等优点,已被证明比较适宜用做摩阻增强纤维[1, 2];最近出现的芳纶浆粕是一种超短纤维,与芳纶长丝一样具有强度高、密度小、低磨损性和稳定的摩擦系数,而且加工性良好,采用碳纤维/浆粕混杂增强已成为摩阻材料的一个新的研究方向,它可弥补相互的缺陷,使摩阻复合材料的综合性能提高。因此对碳纤维/芳纶浆粕增强的摩阻材料的研究很有意义。

1 实 验

1.1 原材料

原料:丁晴橡胶改性酚醛树脂由圣泉海沃斯化工有限公司提供;短切碳纤维由天泰碳纤维有限公司提供;芳纶浆粕由荷兰AKZO公司提供;硫酸钡、高岭土、石墨、氧化物、金属粉等填料为市售。

1.2 制备工艺

工艺流程:将碳纤维和芳纶浆粕蓬松处理后与粉末状树脂及填料混合,经装模,压制,脱模,后处理,制得试样。

1.3 性能测试

耐热性:用DSC SP差热-热重分析仪测量树脂的失重率。

摩擦性能:用M-200摩擦实验机测量试样的摩擦系数和磨损率,按GB5763—86。

冲击强度:用摆锤式冲击实验机测量试样的冲击强度,按GB5765—86。

收稿日期: 2000-07-12; 收修改稿日期: 2000-08-29
作者介绍: 张佐光(1952),男,博士,教授,主要从事高性能树脂基复合材料方面的研究。

微观分析: 用 ISM-5800 扫描电镜对摩擦后的试样进行表面形貌分析。

2 结果与讨论

2.1 热性能分析

一般摩阻材料的工作温度在 300 ℃以上, 随着高速、重载的要求, 对基体的耐热性越来越高。目前, 汽车行业使用的基体几乎全部为酚醛树脂及其改性体, 选用的丁腈橡胶(BNR-butadiene nitride rubber)改性酚醛树脂是在树脂中加入橡胶进行共混, 形成"高分子合金", 对原树脂体系的性能有很大提高。图 1 和图 2 分别是普通 2123 酚醛和丁腈橡胶改性酚醛的热失重曲线。

从图中可看出普通 2123 酚醛在 150 ℃就有一个明显的失重峰, 到 400 ℃时失重已达 25 %; 而丁

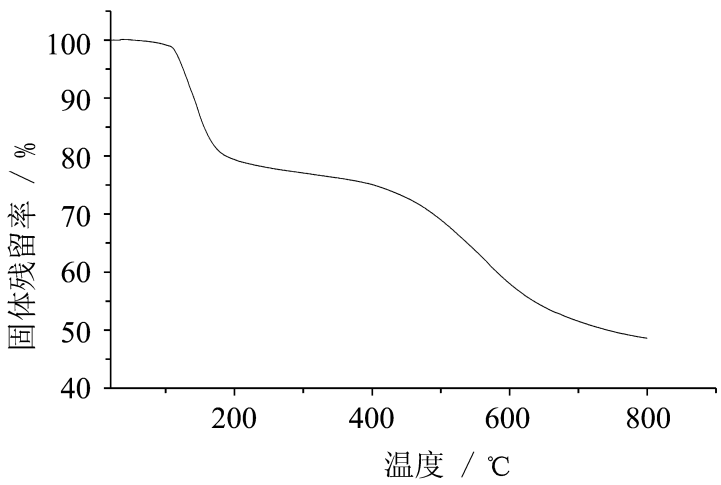

图 1 普通 2123 酚醛的热失重曲线

Fig. 1 TG curve of common phenolic resin

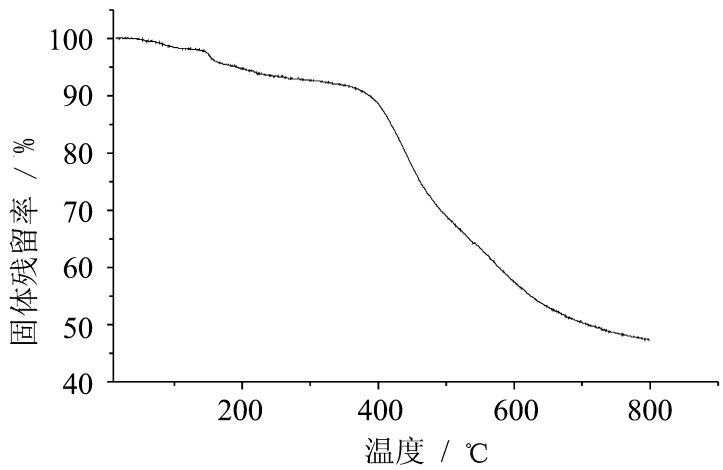

图 2 丁腈橡胶改性酚醛的热失重曲线

Fig. 2 TG curve of BNR modified phenolic resin

腈橡胶改性酚醛 300 ℃前失重很小, 不超过 5 %, 在 400 ℃时失重仍只有 10 %, 其热分解温度明显高于 400 ℃, 在 800 ℃时失重仍不大于 50 %。

由此可见, 这种"高分子合金"结构, 大大提高了键能, 同时橡胶粒子在受力时逐渐从树脂连续相中析出, 阻止应力裂缝和界面裂缝的扩展, 延缓断裂破坏过程, 从而使基体的韧性提高, 即改善了其冲击强度[3]。因此用丁腈橡胶改性酚醛基本达到了改性的主要目的: 提高耐热性, 改进脆性, 这种改性酚醛可适应摩阻材料的要求。

2.2 冲击强度影响因素分析

摩阻材料在应用时, 要有良好的结合强度, 以保证整个制品装配、使用时的坚固度及铆钉连接底板的固接强度。我国国标规定汽车用制动衬片的冲击强度不小于 3.0 kgf · cm/ cm^2。从以下结果可知所有试样的冲击强度都大大超过国标要求。

2.2.1 树脂含量对冲击强度的影响

图 3 反映出随着树脂含量增加, 试样的冲击强度逐渐增大, 在树脂含量为30wt% 左右达到最

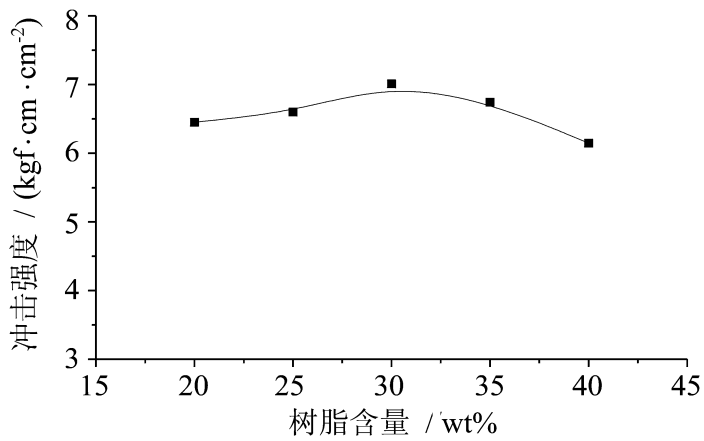

图 3 树脂含量与冲击强度关系的曲线

Fig. 3 Impact strength versus content of BNR modified phenolic resin

大, 超过 30 wt% 后又逐渐下降, 但整体波动幅度不大。原因是丁腈橡胶改性后的酚醛树脂冲击韧性得到很大提高, 其含量的增减对试样整体影响不太大, 而在其含量低于 30 wt% 时增加其含量可加强各组分的有效粘接, 有利于消除局部"贫胶", 使各组分的性能充分发挥出来, 超过 30 wt%, 即易形成"富胶"反而降低了整体的力学性能。

2.2.2 纤维总含量对冲击强度的影响

从图 4 可看出, 保持芳纶浆粕混杂比 30 wt% 不变的基础上, 纤维含量低于 10 wt% 时, 纤维含量对冲击强度的影响明显, 这是因为高强度高模量的纤维往往决定了试样的整体性能, 而超过了 10 wt% 则由于短切碳纤维和芳纶浆粕的蓬松性, 其体积含量已远远高于 10 %, 基体含量不够, 各组分间结合不是太紧密, 冲击强度呈缓慢下降趋势。故对于需要使用短切纤维的摩阻材料, 纤维含量不宜过多。

2.2.3 芳纶浆粕混杂比对冲击强度的影响

图 5 是在保持纤维总含量 12 wt% 不变的条件

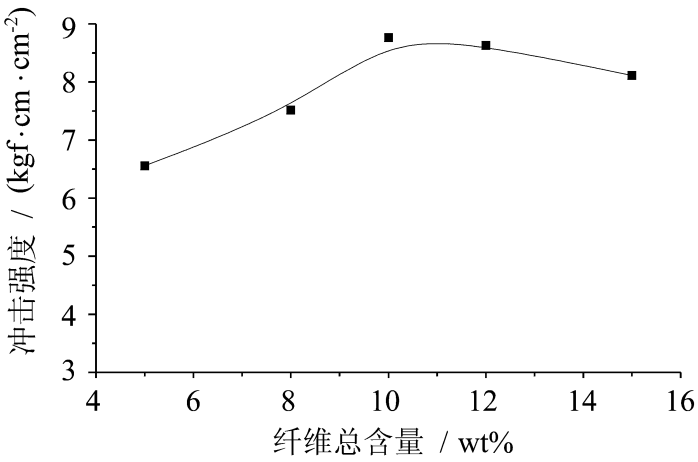

图 4　纤维总含量与冲击强度关系的曲线

Fig. 4　Impact strength versus total content of fibers

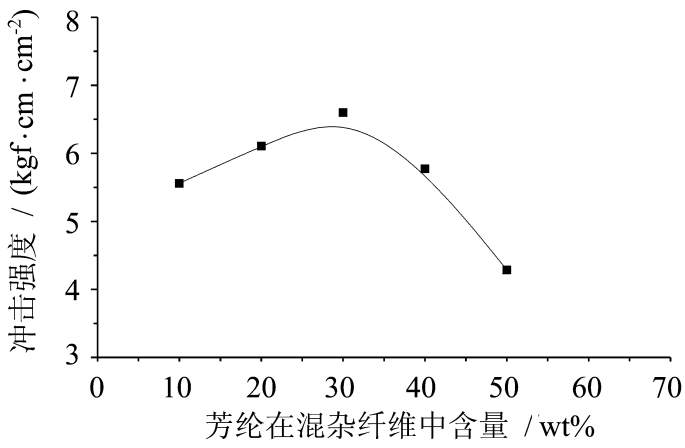

图 5　芳纶浆粕混杂比与冲击强度关系的曲线

Fig. 5　Impact strength versus hybrid ratio of Aramid pulp

下,改变两种纤维的混杂比得到的曲线。曲线在芳纶浆粕的混杂比为 30 % 时有一个峰值。浆粕纤维和短切纤维有很大差异,它外观毛羽丰富,表面粗糙,沿轴向排列许多微原纤,表面积大,容易分散在基体中,形成各向同性的复合材料。因此当芳纶浆粕的混杂比不大(即浆粕纤维的含量不多)时,浆粕纤维可充分地分散到基体中,发挥其高强度;当其混杂比超过一定值,则由于表面积过大而易结团无法分散,不能与基体有效结合,致使试样的冲击强度下降。

2.3　摩擦性能影响因素分析

摩擦系数是摩阻材料最重要的一个指标,它直接反映了材料的摩擦学特性。国标规定汽车用制动衬片的摩擦系数在 0.3～0.6 之间。本试验所制备的试样均能满足要求。

2.3.1　树脂含量对摩擦系数的影响

从图 6 可以看出,随树脂含量的增加,材料的摩擦系数先增大,然后又逐渐下降。由于所用树脂为丁腈橡胶改性酚醛,如前所述,其本身的耐热性很好,韧性很高,在压力及摩擦热的作用下树脂变形,增大了材料与对偶的实际接触面积,根据摩擦学“粘着理论”,这意味着提高了二者之间的接触摩擦力,也就

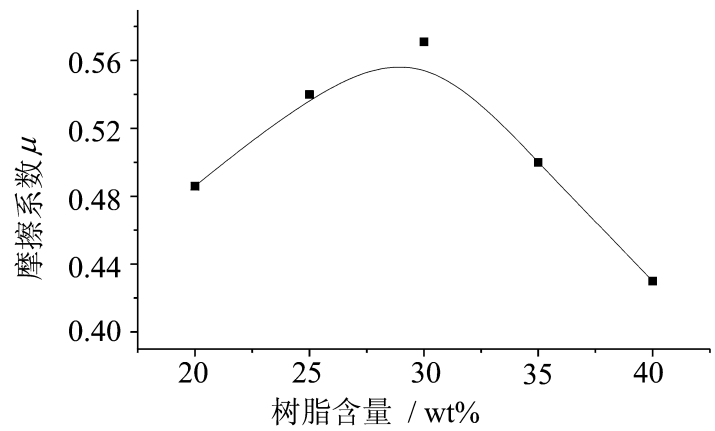

图 6　树脂含量与摩擦系数关系的曲线

Fig. 6　Friction coefficient versus content of BNR modified phenolic resin

是说该树脂的摩擦性能良好,所以随树脂含量的增加,材料的摩擦性能得到改善。但当树脂含量达到一个较大值(超过 30 %)后,由于树脂的包埋作用,使其它一些增摩填料硬质颗粒出现在界面的机会减少,从而抑制了增摩作用的充分发挥,这样,材料与对偶间的啮合力要小得多,摩擦系数也随之减小,树脂含量愈多,这种抑制作用愈明显。

2.3.2　纤维总含量对摩擦系数的影响

从图 7 可以看出,随纤维含量的增加(保持芳纶

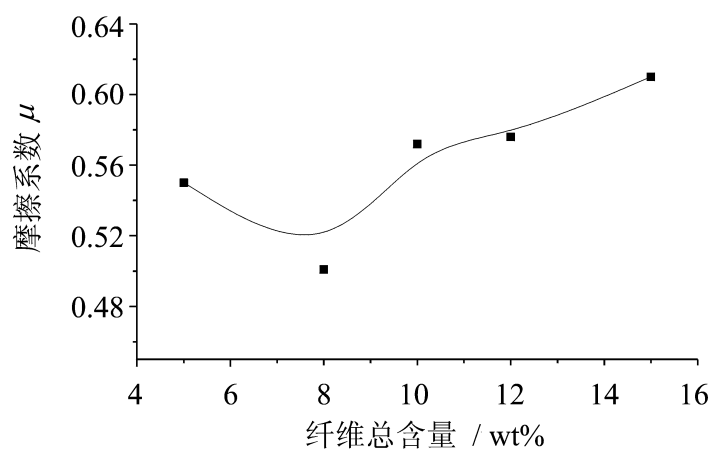

图 7　纤维总含量与摩擦系数关系的曲线

Fig. 7　Friction coefficient versus total content of fibers

浆粕混杂比 30 % 不变),材料的摩擦系数先减小,含量超过 10 % 后,摩擦系数又开始增大。碳纤维属“乱层石墨”结构,本身具有自润滑性和一定的减摩作用[4]。碳纤维含量较低时,由于发生在摩擦界面的犁切阻力较小,碳纤维的减摩作用十分明显,因而表现出随碳纤维含量的增加,材料的摩擦系数下降;当碳纤维含量较高时,由于碳纤维本身具有高的模量和强度,所以滑动时抗犁切阻力相当大,远远超过了碳纤维的减摩作用,从而表现出摩擦系数随纤维含量的增加而增大。

2.3.3 芳纶浆粕混杂比对摩擦系数的影响

从图 8 可以看出, 在保持纤维总含量 12 % 不变

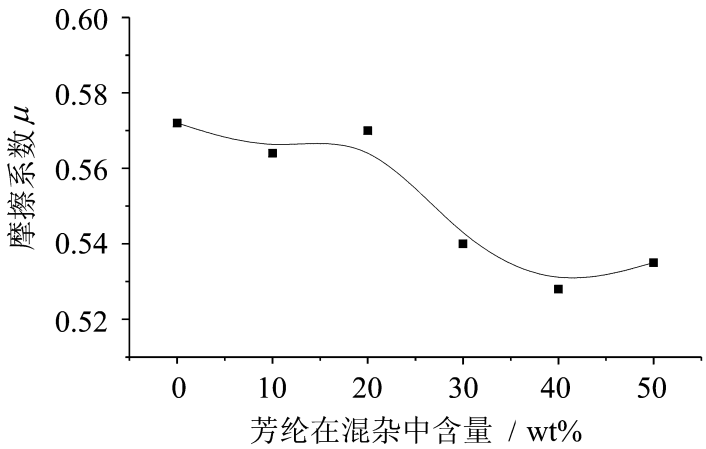

图 8 芳纶浆粕混杂比与摩擦系数关系的曲线

Fig. 8 Friction coefficient versus hybrid ratio of aramid pulp

的条件下, 随着浆粕在碳纤维/芳纶混杂纤维中的比例的增大, 材料的摩擦系数不断下降, 但变化幅度不大。这是因为芳纶在材料摩擦过程中容易在对偶的界面上形成转移膜, 使摩擦表面变得相对光滑, 减小了摩擦阻力, 从而导致摩擦系数下降。由于芳纶含量总体较小, 这种减摩作用也有限。在摩擦试验的过程中, 发现含有芳纶试样的摩擦曲线波动幅度比单一碳纤维增强的试样普遍要小, 即加入芳纶浆粕改善了摩擦系数的平稳性, 这正是摩擦材料所需要的。

2.3.4 树脂含量对磨损量的影响

磨损量是摩阻材料另一个重要的指标, 它反映了材料的使用寿命。国标规定汽车用制动衬片的磨损量不大于 5.0×10^{-7} cm^3/kgf · m。所有试样的结果都低于此值。

从图 9 可以看出, 树脂含量低时(20 %), 材料的比磨损率相对较大; 随着树脂含量的增加, 材料的比磨损率呈线性减小, 但减小幅度较为缓和。由于树脂在滑动摩擦过程中将在对偶表面形成一层转移膜[5], 这种转移膜能填平对偶凹凸不平的表面, 起到润滑剂的效果, 从而使对偶对材料的刮擦作用减少, 减低了磨损量。树脂含量增大, 转移膜的厚度也随之增加, 减磨作用也增大。另外, 树脂含量较大时, 界面上的磨粒更容易被重新压回材料中, 形成材料的自修复, 增强了摩擦表面的自净性, 磨粒磨损减少。可以看出, 树脂含量高的材料的磨损表面比树脂含量低的材料的要"光滑"。本试验说明在所涉及树脂含量范围内, 增加树脂含量有利于降低磨损。但这并不

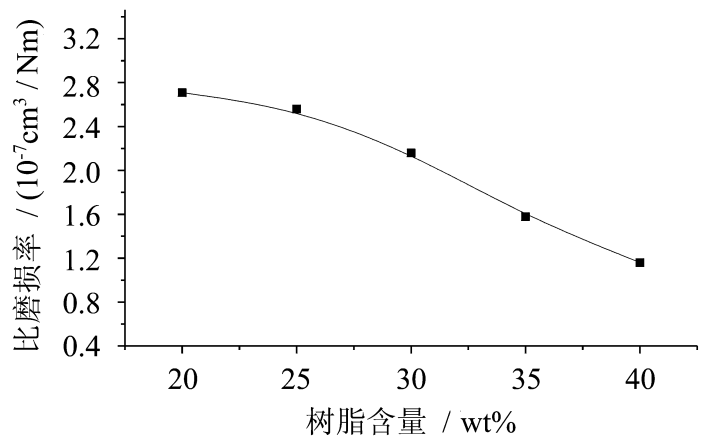

图 9 树脂含量与比磨损率关系的曲线

Fig. 9 Specific wear rate versus content of BNR modified phenolic resin

意味着树脂含量继续增大, 磨损量也会继续降低, 因为转移膜对磨损的改善作用是有限的, 当转移膜达到一定厚度以后, 其他因素将成为影响磨损的主导因素。

3 结 论

(1) 选用丁腈橡胶改性酚醛树脂为基体, 可使摩阻材料具有良好的耐热性和适宜的摩擦学性能, 是一种较合适的粘接剂。

(2) 芳纶浆粕可适度降低摩擦系数, 有效提高摩擦性能的稳定性。

(3) 用碳纤维和芳纶浆粕混杂作为增强材料不仅可减少纤维用量降低了成本, 而且可充分发挥每一种纤维的优点, 弥补相互的缺点, 使性能更加优异。

参考文献:

[1] 吴红秀, 吕亚菲. 碳纤维复合摩擦片的研制[J]. 新型碳材料, 1998, 13(2): 49- 52.

[2] 关庆丰, 李光玉, 李晓宇, 等. 碳纤维对增强的摩阻材料的摩擦磨损特性的影响[J]. 吉林工业大学学报, 1997, 27(3): 73- 76.

[3] 汤希庆, 张元民. 摩阻复合材料基体改性工艺及性能评价[J]. 复合材料学报, 1991, 3: 43- 50.

[4] 徐仁泉, 胡 庆. 冷压盘式刹车片摩擦磨损性能的研究[J]. 摩擦学学报, 1998, 18(3): 259- 262.

[5] Friedrich K, Lu Z, Hager A M. Overview on polymer composites for friction and wear application[J]. Theoretical and Applied Mechanics, 1993, 19: 1- 11.