

[文章编号] 1004-0609(2000)Suppl. 1-0097-05

碳纤维对铜-石墨复合材料性能的影响^①

高 强, 吴渝英, 张国定, 洪 钺, 肖学明

(上海交通大学 复合材料研究所, 上海 200030)

[摘 要] 根据目前电力机车受电弓滑板应用的背景研究了在铜-石墨复合材料中加入碳纤维后对复合材料滑动电接触性能的影响。详细研究了碳纤维的加入量、排列、分布对复合材料密度、电阻率、冲击性能的影响规律, 并通过与传统滑板性能比较来验证它是一种既具有优良滑动接触性能又具有优良导电性能和一定强度的新型滑动电接触复合材料。

[关键词] 铜-石墨复合材料; 碳纤维; 冲击值; 滑动电接触

[中图分类号] TB331

[文献标识码] A

轨道交通用受电弓滑板要求在导电性能和自润滑性能良好的前提下有一定的抗冲击强度, 然而用传统的原材料及制备方法不能制得满足轨道交通用的导电滑板。我国目前使用的受电弓滑板有三大类^[1]: 纯碳滑板、粉末冶金滑板和浸渍金属碳滑板。纯碳滑板导电性能较差, 力学性能太低, 易发生滑板折断等事故, 粉末冶金滑板虽有较高的强度和良好的导电性能但存在对铜导线磨耗严重的缺点, 浸渍金属碳滑板在一定程度上改善了对铜导线的磨耗, 但存在抗冲击性能差的缺点, 而且对铜导线的磨耗仍然比较严重。

铜-石墨复合材料广泛应用于制造滑动电接触材料^[2~11], 但是石墨含量较高时, 铜-石墨复合材料的力学性能会大大降低^[12]。碳纤维具有高强度、高模量、重量轻和良好的自润滑性能等特点, 广泛用于制作纤维增强复合材料^[13]。为了提高铜-石墨复合材料的力学性能, 作者加入高强度的碳纤维做增强物, 制成碳纤维增强铜-石墨复合材料, 使其既有低的电阻系数, 又有高的冲击性能及抗折性能和优良的滑动接触性能。

1 材料和试验

本研究所选用的碳纤维是上海碳素厂生产的, 抗拉强度约为 2 500 MPa, 长度为 1~5 mm, 直径为 7 μm, 密度约 1.7 g/cm³。试验所用镀铜石墨粉由实验室提供。

密度的测定采用体积-重量法, 按 GB1994-80

标准进行。

电阻率测定根据 GB6717-86 标准规定, 使用北仑牌 DM-100 型数字式微欧微伏表, 采用四端接法, 有效消除接触电阻和引线电阻。

抗冲击强度的测定使用 CHARPY XCT-500 型摆锤冲击值测定装置, 试样尺寸为 10 mm × 10 mm × 40 mm, 支撑距离为 28.5 mm。

摩擦磨损性能测定使用 MM-200 摩擦磨损试验机, 对磨材料是铜, 以试样磨痕宽度表征磨损量。

2 试验结果和讨论

2.1 碳纤维对复合材料电阻率和密度的影响

碳纤维含量对复合材料的电阻率和密度有显著的影响。图 1 和图 2 是碳纤维含量增加时复合材料电阻率和密度的变化曲线, 由图可见, 随碳纤维含量的增加, 复合材料的电阻率也逐渐增加, 在含量为 1.8%~8.4% (体积分数, 下同) 时呈近似线性增加, 斜率为 69, 在含量为 8.4%~11.5% 时也呈线性增长, 但斜率为 226, 即在碳纤维含量为 8% 左右时, 电阻率变化有一转折点, 继续增加碳纤维含量使电阻率急剧上升。随碳纤维的增加, 复合材料电阻率变大, 这是因为, 在复合材料中, 铜是靠自由电子导电, 碳纤维的加入, 一方面减少了铜的体积分数, 导致自由电子的减少; 另一方面, 碳纤维的导电性能远远低于铜, 且短碳纤维的存在相当于割裂了基体, 对自由电子有散射作用, 这都导致

① [收稿日期] 1999-11-05; [修订日期] 2000-05-08

[作者简介] 高强(1975-), 男, 博士生。

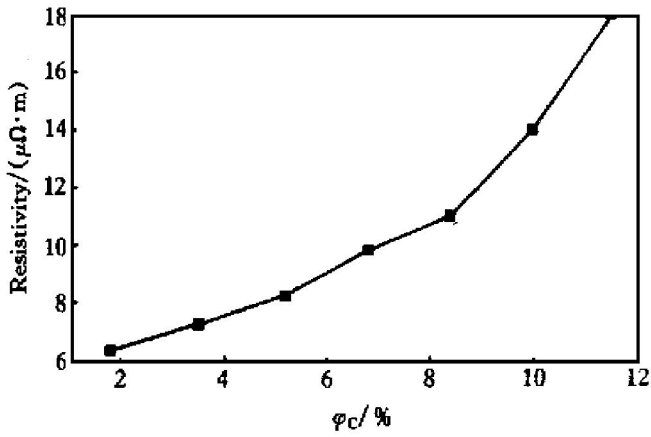


图1 碳纤维含量对复合材料电阻率的影响

Fig. 1 Effect of fiber content on resistivity of composite material

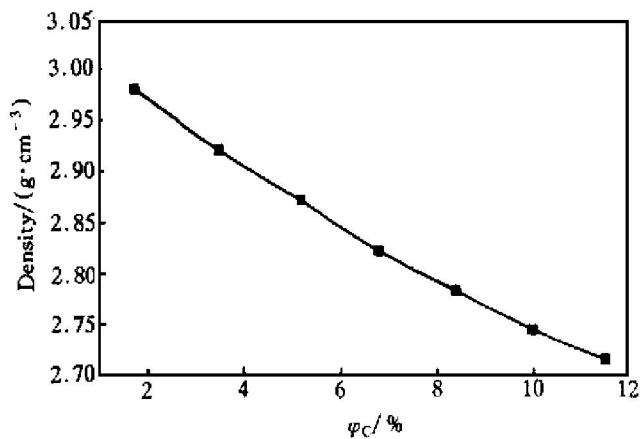


图2 碳纤维含量对复合材料密度的影响

Fig. 2 Effect of fiber content on density of composite material

复合材料导电能力的下降。

复合材料密度随碳纤维含量的增加呈线性减小，斜率为0.04。

2.2 复合材料的抗冲击性能

碳纤维的含量、排列取向和分布对碳纤维增强铜-石墨复合材料的冲击性能有很大影响。

2.2.1 碳纤维含量对复合材料冲击值的影响

图3是复合材料冲击值随碳纤维体积分数变化的曲线。由图可见，在碳纤维含量为5%时，冲击值达到最高点，而碳纤维含量超过5%以后，材料的冲击值随碳纤维含量的增加而减小。这是因为，碳纤维直径很小，表面积大，极易集聚，当碳纤维含量较多时，更难以分散均匀，碳纤维团聚后不但起不到增强效果，反而使复合材料冲击值下降，碳纤维越多，团聚越严重，冲击值也越低。

2.2.2 碳纤维排列对复合材料抗冲击性能的影响

碳纤维的排列方式对复合材料的冲击性能有显

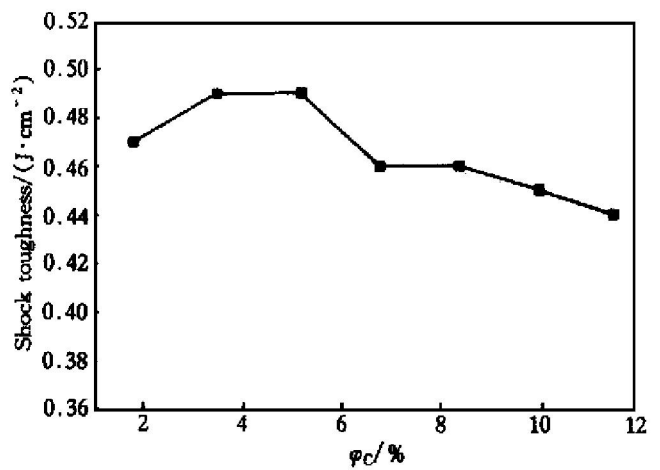


图3 碳纤维含量对复合材料冲击值的影响

Fig. 3 Effect of fiber content on shock toughness of composite material

著影响，碳纤维垂直于冲击面方向排列时，复合材料的冲击值远远高于碳纤维随机混杂排列时复合材料的冲击值。

不含碳纤维、碳纤维混杂排列、碳纤维垂直于冲击面方向排列时复合材料的抗冲击强度情况是：当碳纤维混杂排列时，复合材料的冲击值反而比不含碳纤维的还要低，而碳纤维垂直于冲击面取向排列的复合材料的冲击值比另外两种复合材料的冲击值多1倍以上。

图4是冲击值为0.44 J/cm²的试样断口照片，从图中可以看出，碳纤维混杂排列无一定排列方向，尤其是平行于冲击面的碳纤维没能起到增强作用，反而由于碳纤维的存在隔断了连续的基体，基体在这些碳纤维附近发生断裂，故碳纤维混杂排列时冲击值很低，甚至低于不含碳纤维的试样。

图5是冲击值为1.33 J/cm²的试样断口照片，大部分碳纤维排列方向垂直于冲击面。图中的孔洞是碳纤维拔出后留下的，碳纤维的拔出要消耗能量，因此冲击值高达1.33 J/cm²。碳纤维基本上是从一端的基体中拔出的，这说明碳纤维与基体的结合强度不够高，材料在破坏时，碳纤维没有破坏，碳纤维的高强度没有充分发挥作用。如果能提高碳纤维和基体的结合强度，复合材料的冲击值还可以有大幅度提高。

2.2.3 碳纤维分布对复合材料抗冲击性能的影响

碳纤维在铜-石墨复合材料中分布均匀与否严重影响复合材料的抗冲击性能。图6是冲击值为0.34 J/cm²的试样冲击断口电镜照片，尽管碳纤维的排列方向垂直于冲击断面但由于碳纤维的集聚，使其冲击值仅为0.34 J/cm²，相当于碳纤维均匀分布的试样的1/4。碳纤维的集聚处相当于复合材料



图4 碳纤维杂乱无章的排列($\times 200$)

Fig. 4 SEM of fracture random distribution of carbon fiber

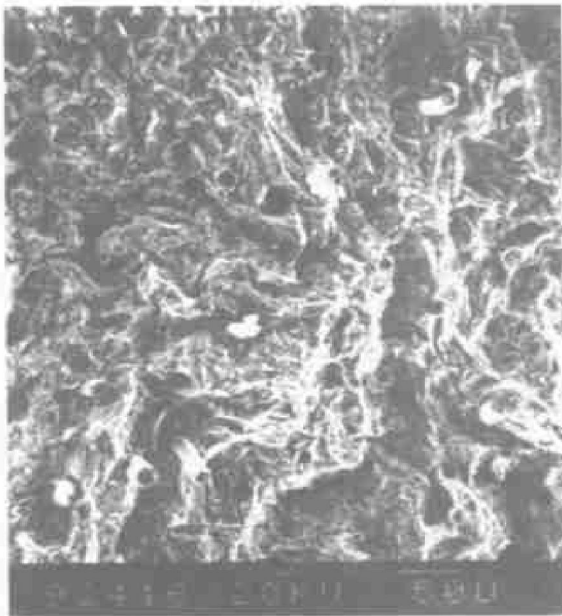


图5 碳纤维垂直于断口方向的排列($\times 120$)

Fig. 5 SEM of fracture regular distribution of carbon fiber

内部的缺陷,成为破坏时的裂纹源,因此碳纤维起不了增强作用,故冲击值很低。为避免产生集聚现象,作者在加入碳纤维前对其进行处理,在制备过程中,控制工艺条件,以保证碳纤维能均匀分布。

2.3 复合材料的摩擦磨损性能

本研究制作的复合材料具有优良的滑动接触性能,即“既耐磨也不磨损对方”,与浸渍金属碳滑板



图6 碳纤维集聚试样断口电镜照片($\times 120$)

Fig. 6 SEM of fracture accumulation of carbon fiber

相比,在相同规定条件下的磨痕宽度分别为 2.54 mm 和 2.64 mm。说明研究的材料耐磨性能比浸渍金属碳滑板好。

图7,8分别是浸渍金属碳滑板和本研究制作的复合材料的对磨铜环电镜照片,它反映滑板对导线的磨损程度。浸渍金属碳滑板对铜环的磨损严重,划痕深,发生了严重的粘着磨损,而作者制作的复合材料对铜环的磨损很小,表面光滑基本无划痕。

2.4 与传统滑板性能的比较

表1是本研究制造的复合材料滑板与传统的纯碳滑板和浸渍金属碳滑板的性能比较。由表1数据可以看出,碳纤维增强铜-石墨复合材料滑板冲击性能和导电性能比纯碳滑板好,冲击值是纯碳滑板的4倍多,电阻率不到纯碳滑板的1/2;滑动接触性能优于浸渍金属碳滑板,是具有发展前途的滑动电接触材料。

3 结论

1) 随碳纤维含量增加,电阻率在碳纤维含量小于8.4%时呈近似线性增加,在碳纤维含量大于8.4%后复合材料电阻率急剧上升;随碳纤维含量增加,复合材料的密度呈线性减小。

2) 碳纤维含量超过5%后,随碳纤维含量增加,复合材料冲击值减小,碳纤维含量为5%左右时复合材料冲击值达到最高。

表 1 复合材料滑板与传统的纯碳滑板和浸渍金属碳滑板的性能比较

Table 1 Properties of pantograph sliders

Type of slider	Density / (g·cm ⁻³)	Resistivity / (μΩ·m)	Shock toughness / (J·cm ⁻²)	Friction coefficient	Width of wear/mm	Wear of counterpart
Composite slider	2.88	7.2	1.33	0.20	2.54	Light
C26	1.66	17.9	0.31	0.21	2.68	Ordinary
C26P	2.79	5.2	0.79	0.14	2.64	Severance



图 7 浸渍金属碳滑板对磨铜环电镜照片(×40)

Fig. 7 SEM morphology of copper counterpart (friction with metal impregnated slider)

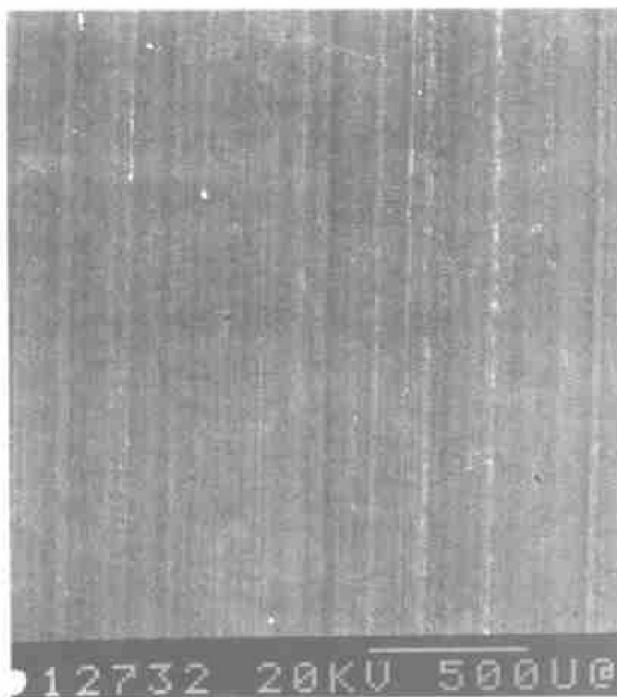


图 8 本制作对磨铜环电镜照片(×40)

Fig. 8 SEM morphology of copper counterpart (friction with composite material slider)

3) 碳纤维垂直于冲击面取向排列可将复合材料的冲击值提高 1 倍以上, 如果提高碳纤维和基体的结合强度, 冲击值可望进一步提高。

4) 碳纤维增强铜-石墨复合材料冲击性能和导电性能比纯碳滑板好, 滑动接触性能优于浸渍金属碳滑板, 是具有发展前途的滑动电接触材料。

[REFERENCES]

[1] DAI Chun-yi(戴春意) and YU Ming-chang(俞明昌). 电力机车受电弓滑板的选用[J]. Electric Driver for Locomotive(机车电传动), 1998(3): 39- 40.

[2] Lee P K. High-current brush material development, Part I: sintered metal coated graphite [J]. IEEE Trans, 1980 Chmt-3(1): 4- 8.

[3] DING Hua-dong(丁华东) and LI Ya-wen(李雅文). 铜石墨材料抗弯强度与孔隙的关系[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1996, 6(4): 123- 126.

[4] DING Hua-dong(丁华东) and HAO Hong-qi(浩宏奇). 石墨含量对铜基滑板烧结膨胀的影响[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1996, 6(3): 106- 110.

[5] Suckchoon K. A study of friction and wear characteristics of copper and iron base sintered materials [J]. Wear, 1993, 162- 164 part B: 1123- 1128.

[6] XU Shao-fan(许少凡), WANG Wen-fang(王文芳), FENG Yi(风仪), et al. 碳纤维中铜-石墨复合材料的摩擦磨损性能研究[J]. Tribology(摩擦学学报), 1998, 18(3): 255- 258.

[7] HOU Sai-zhang(侯赛彰), LIU Xi-ming(刘熙明), HU Shi-yan(胡世元), et al. 电力机车受电弓用粉末冶金铜基滑板[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1994, 4(4)增刊, 249- 252.

[8] Shunichi K. Effect of arc discharge on wear rate of Cu impregnated carbon strip in unlubricated sliding against Cu trolley under electric current [J]. Wear, 1998, 216: 172- 178.

[9] ZHU Man-kang(朱满康), YANG Hua(杨桦), CHEN Yan-min(陈延民), et al. 铜镀覆石墨粉的研制及其性能[J]. Carbon(碳素), 1996(3): 22- 25.

[10] Da Hai He, Rafael R, Norm Grady, et al. Wear of railway contact wires against current collector materials

- [J]. *Wear*, 1998, 215: 146– 155.
- [11] WANG Wenfang (王文芳), XU Shaofan(许少凡), YING Meifang(应美芳), et al. 用镀铜石墨粉制备铜-石墨复合材料[J]. *Materials for Mechanical Engineering*(机械工程材料), 1999, 23(2): 41– 43.
- [12] YU Mindong(余敏东). 受电弓滑板用碳基复合材料的制备工艺及性能研究[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 1997. 2.
- [13] GU Lizhi(顾里之). 纤维增强复合材料[M]. Beijing: Machinery Industry Press(机械工业出版社), 1988. 12– 25.

Effect of carbon fiber on property of copper-graphite composite materials

GAO Qiang, WU Yuying, ZHANG Guoding, HONG Qin, XIAO Xueming
(Institute of Composite Materials, Shanghai Jiaotong University,
Shanghai 200030, P. R. China)

[Abstract] The effect of carbon fiber on sliding electrical contact property of copper-graphite composite materials has been studied. Effect of fiber volume, arrangement and distribution on density, resistivity and shock toughness was discussed in detail. Consequently, a novel composite material was developed which has good electrical conductivity and shock toughness, excellent sliding contact property.

[Key words] copper-graphite composite material; carbon fiber; shock toughness; sliding electrical contact

(编辑 朱忠国)