

C/C 刹车盘的结构及断口分析

A Study on Structure and Fracture Morphologies of Carbon/Carbon Composite Brake Discs

谈竞霜, 张保法, 姜海, 李东生 (北京百慕航材高科技股份有限公司, 北京 100095)

TAN Jing-shuang, ZHANG Bao-fa, JIANG Hai, LI Dong-sheng
(Baimtec Material Co., Ltd. Beijing 100095, China)

摘要: 用腐蚀方法解剖了几种 C/C 复合材料刹车盘, 分析了它们预成型体的结构。用扫描电子显微镜观察了 C/C 复合材料刹车盘的平行盘面及垂直盘面的断口, 分析了碳纤维与基体之间的界面特征。

关键词: C/C 复合材料; 界面; 化学气相沉积 (CVD); 预制体

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381 (2001) 07-0043-03

Abstract: The preforms of several types of brake discs were investigated by a special corrosion method. The fracture morphologies of the brake discs in parallel and perpendicular faces were observed by scanning electron microscope. The interfacial characteristics between carbon fibers and the matrices were analyzed.

Key words: carbon/carbon composite; interface; chemical vapor deposition (CVD); preform

随着飞机飞行及着陆速度的不断提高, 装载重量的不断增加, 对飞机紧急制动和着陆制动刹车装置的摩擦副材料的要求也越来越高, 它们必须适应高速、重载刹车制动要求。在高速重载刹车制动瞬间摩擦热可使刹车盘表面温度达 2000℃ 以上^[1]。C/C 复合材料的刹车盘自应用于飞机以来^[2], 以其密度低、热膨胀系数低、导热性好、抗热冲击能力强、高比热等特点受到关注, 现在已大量应用于飞机刹车系统^[3]。目前我国研究和生产 C/C 复合材料刹车盘的水平有待提高。要提高 C/C 复合材料的研究和生产水平, 有必要对不同制造工艺和不同型号的 C/C 复合材料刹车盘进行深入细致的剖析。为此, 分析研究了几种典型的 C/C 复合材料刹车盘的结构特点, 以探索先进 C/C 复合材料制备方法。

1 实验方法

分析的样品分别为 A, B, C, D, E 等型刹车盘。用特殊工艺腐蚀刹车盘样品, 获得 A, B 型盘的单束纤维, C, D, E 型盘叠层结构的纤维单层。在扫描电子显微镜下观察上述 5 种刹车盘样品平行盘面及垂直盘面的断口。

2 实验结果及分析

2.1 C/C 刹车盘预制体分析

A 和 B 型刹车盘样品经腐蚀后, 其主要由短切的

纤维束组成。A 的单束纤维截面宽度约为 3mm, 厚度约为 0.34mm。B 的单束纤维宽度约为 1.4mm, 厚度约为 0.2mm, A 型盘选用的纤维束较粗, 而 B 型盘选用的纤维束细。

C 型刹车盘预制体是由短纤维网胎毡与连续纤维无纬布铺层相互交替叠层排列。从腐蚀后分解的试样发现, 纤维无纬布铺层有方向性, 每层无纬布之间夹角 70 左右, 在厚度 10mm 上铺层约 21~22 层。C 型腐蚀后的无纬布上面可以看见粘接的短纤维, 说明纤维网胎毡与长纤维无纬布铺层之间结合性好。

D 型的预制体是由几个铺层针刺后再多层叠制为一体, 连续纤维无纬布铺层面上有第三向的纤维束。从腐蚀后分解的试样发现, 纤维无纬布铺层有方向性, 每层无纬布之间夹角约 60 左右, 几层之间就有同方向层面出现, 整盘来看无纬布铺层方向均匀分散。在厚度 10mm 上铺层约 18~19 层。

E 型刹车盘为整盘穿刺, 纤维引线长、分布均匀且针刺密度紧密。

2.2 断口分析

图 1a, b 分别为 A 型刹车盘的垂直盘面断口和平行盘面断口的形貌。图 1a 中为包裹得紧密的纤维断口, 断口剖面呈现凹凸不平, 纤维从基体拔出长度短, 表明纤维与基体界面结合强度较好。图 1b 中有一块树脂炭基体, 树脂聚集于纤维束间的大孔中, 炭化后产生收缩裂纹。

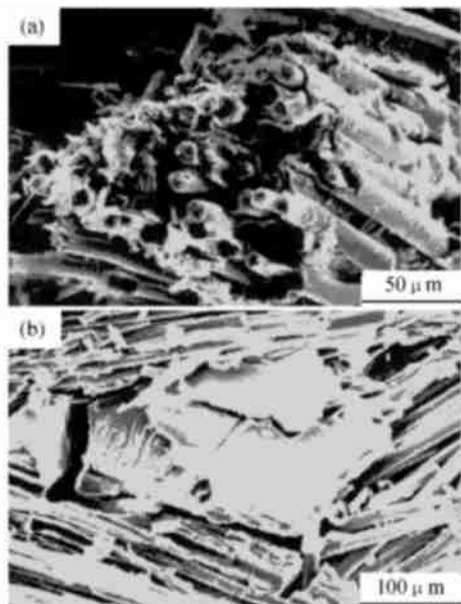


图1 A型盘的盘面断口 (a) 垂直盘面; (b) 平行盘面
Fig. 1 Fractograph of A type of brake discs
(a) perpendicular face; (b) parallel face

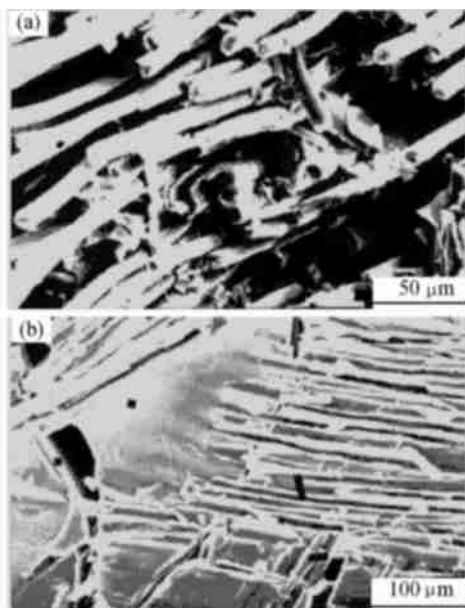


图2 B型盘的盘面断口 (a) 垂直盘面; (b) 平行盘面
Fig. 2 Fractograph of B type brake discs
(a) perpendicular face; (b) parallel face

图2a为B型盘的垂直盘面断口形貌,断口上拔出的纤维长度长,表明纤维与基体炭界面结合强度弱。图2b为B型盘平行盘面断口形貌,从中也可发现树脂淤积块。说明A及B型刹车盘在生产过程中都经过了树脂或沥青浸渍工艺。纤维与基体之间界面结合强度对整体的力学性能有重要的影响。影响界面结合强度的因素,主要是纤维表面处理状况和基体组织

(树脂、CVD炭组织等)结构,由于纤维与CVD炭界面结合强度比纤维和树脂炭之间界面结合强度高,未经过表面处理的纤维浸渍树脂时,界面亲和性要弱,碳化后纤维和树脂炭之间产生微孔隙,便于CVD炭沉积。树脂含量多少及纤维浸渍均匀性也影响整体强度,尽管树脂炭能填充大孔隙但易产生大裂纹,CVD炭则易于填充微孔^[4]。

图3a,b分别为C型刹车盘的垂直盘面断口和平行盘面断口的形貌,从图3a可以看到,纤维拔出长度较短、基体断口凹凸不平,表明增强纤维与CVD炭界面结合强度较高,基体韧性好。图3b为C型盘的乱纤维网胎层,C型刹车盘从乱纤维层断裂说明该层的力学性能较低。

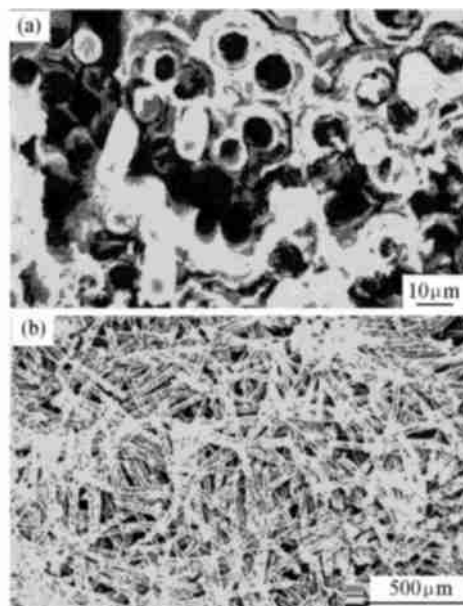


图3 C型盘的盘面断口 (a) 垂直盘面; (b) 平行盘面
Fig. 3 Fractograph of C type brake discs
(a) perpendicular face; (b) parallel face

图4a,b为D型刹车盘的垂直盘面断口和平行盘面断口的形貌,在图4a中纤维拔出长度较短、基体断口凹凸不平,表明纤维与CVD炭界面结合强度较好,基体韧性好。图4b为D型的连续纤维无纬布铺层面,上面有第三向的针刺纤维束。

3 结论

目前C/C刹车盘预制体大致分三类:第一种是炭布叠层,由于成本昂贵,现只是少量使用。第二种短切乱纤维浸树脂压制,不同类型的C/C刹车盘,纤维束不一致,处理工艺也不同,纤维与基体的界面结合强度有差异。第三种是连续纤维为主的针刺毡预制

(下转第32页)

核的要求^[5], 该粒子大大细化合金的铸态晶粒组织, 造成细晶强化, 提高了合金的强度; 而随后均匀化处理析出大量的二次 $Al_3(Sc, Zr)$ 粒子^[2,3], 细小均匀, 弥散, 且与基体共格, 强烈钉扎亚晶界和位错, 阻碍晶界迁移和位错的运动, 一方面起到了弥散强化作用, 另一方面, 从图 1a 可以看到, 它还抑制合金再结晶, 对变形组织中的亚结构具有强烈的稳定化作用, 从图 1f 看到, 添加 Sc 和 Zr 的合金在固溶时效处理后依然保持加工态的纤维组织, 使合金获得亚结构强化, 提高了合金的强度, 而未添加 Sc 和 Zr 的合金固溶处理后已发生完全再结晶。总之, 正是因为添加微量 Sc 和 Zr 对合金额外造成了细晶强化、亚结构强化和弥散强化, 才使得合金的强度得到了很大的提高, 约达 100MPa。另外, Sc 和 Zr 添加对 Al-Zn-Mg 合金中主要强化相 $MgZn_2$ 和 $Al_2Zn_3Mg_3$ 在时效过程中的析出以及对强化作用是否造成影响, 还有待进一步的研究。

4 结论

(1) 微量 Sc 和 Zr 添加到 Al-Zn-Mg 合金中, 除少量固溶于 $\alpha(Al)$ 外, 大部分以 $Al_3(Sc, Zr)$ 中间化合物的形式存在, 主要分两种方式析出: 一种为合金凝固过程中析出的一次 $Al_3(Sc, Zr)$ 粒子, 为粗大的方块状粒子, 起非均质晶核的作用, 可强烈细化合金的铸态晶粒组织, 对合金造成细晶强化作用; 另一种为均匀化处理过程中大量析出的二次 $Al_3(Sc, Zr)$ 粒子, 细小、弥散分布且与基体共格, 为马蹄状, 它强烈钉扎晶界和位错, 阻碍晶界迁移和位错运动, 抑制合金再结晶, 稳定亚结构, 使该合金获得亚结构强化和弥散强化。

(2) 在 Al-Zn-Mg 合金中复合添加微量 Sc 和 Zr 可大幅度提高合金的强度, 约达 100MPa 左右, 且保持较高的延伸率, 使合金具有优良的综合性能。

参考文献

- [1] 林肇琦. 新一代铝合金——铝钎合金的发展概况 [J]. 材料导报, 1992, (3): 10-15.
- [2] 潘青林, 高拥政, 尹志民. Sc 对 Al-Mg 合金组织与性能的影响 [J]. 材料科学与工艺, 1997, 5 (4): 9-13.
- [3] Zhimin Yin, Qinglin Pan, Yonghong Zhang, Feng Jiang. Effect of minor Sc and Zr on the microstructure properties of Al-Mg based alloys [J]. Materials Science and Engineering, 2000, A280: 151-155.
- [4] B. . , B. B. B. APOB 等. 谢燮揆译. 用钎合金化的铝合金 [J]. 轻金属, 1993, (3), 54-58.
- [5] 邦达列夫, 那帕尔科夫, 塔拉雷什金著. 王永海, 张新明, 高革译. 变形铝合金的细化处理 [M]. 北京: 冶金工业出版社.

1988, 8.

收稿日期: 2001-03-26

作者简介: 杨磊 (1975-) 男, 博士, 贵州贵阳人, 现就读于上海交通大学材料科学与工程学院, 主要研究方向为超强铝合金和热电材料的研制与开发, 联系方式: 上海交通大学 A 0005021 (200030)

* * * * *

(上接第 44 页)

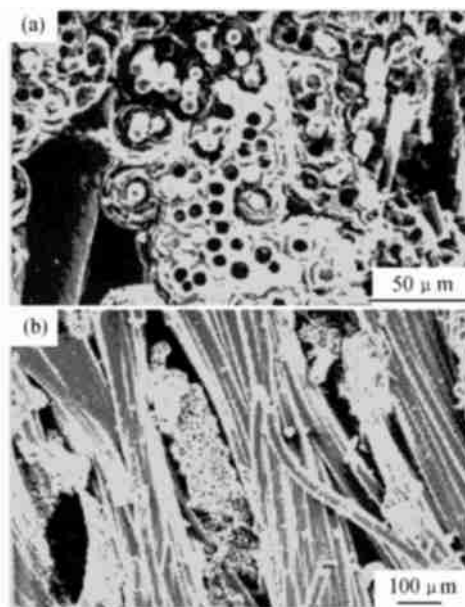


图 4 D 型盘的断口 (a) 垂直盘面; (b) 平行盘面

Fig. 4 Fractograph of D type brake discs

(a) perpendicular face; (b) parallel face

体, 这类刹车盘的基体以 CVD 炭为主, 但预制体的结构有差异, C 型刹车盘是乱纤维网胎层与连续纤维无纬布铺层叠加, D 型刹车盘为连续纤维无纬布铺层叠加后针刺, 针刺厚度 2~3 层, 而 E 型盘的针刺厚度则为盘件厚度。

参考文献

- [1] S Awasthi, J L Word. Ceram Eng Sci Proc, 1988, 9: 553.
- [2] R Fisherand, I L Stimson, Phil Trans R Soc Lond, 1980, A 294: 583.
- [3] G Savage. Carbon-Carbon Composites, C hadman & Hall, 1993, 9: 322.
- [4] C R THOMAS. Essential of Carbon-Carbon Composites, The Toyal Society of Chemistry, 1993, 3: 68.

收稿日期: 2001-04-04

作者简介: 谈竟霜 (1965-), 女, 工程师。联系地址: 北京市 81 信箱 26 分箱 (100095)