

# 耐磨碳/碳复合材料的研制及其制动性能\*

罗瑞盈 杨 峥 康沫狂

(西北工业大学材料科学与工程学院 西安 710072)

**摘要** 针对常规化学气相沉积碳/碳复合材料存在的制备周期长和工艺过程繁杂等问题,在大量试验研究的基础上,通过对常规压差法化学气相沉积工艺进行重大改进,设计出了一种新的沉积室和气体快速定向流动装置,并且配合沉积工艺参数的调整,成功地利用这种改进压差法制备出了碳/碳复合材料。利用这种方法不仅使制备周期缩短到改进前的 40%,省去了常规化学气相沉积法中反复进行的中间机械加工和高温热处理工序,而且大幅度降低了制备成本。全尺寸试样(1-1)惯性动力试验表明,所得制品不仅具有良好的摩擦磨损性能,制动力矩-速度关系曲线平稳和磨损率低等优点,而且刹车盘表面光滑,未发现碎裂和分层等现象,符合飞机等刹车制动的使用要求。

**关键词** 化学气相沉积 碳/碳复合材料 刹车盘 摩擦磨损 制动性能

化学气相沉积碳/碳(简称 CVD C/C)复合材料具有密度低、热容量大、热强度高和热物理性能好等优点而受到人们的普遍重视,用其制成的刹车盘不仅质量轻、使用寿命长和承载能力高,而且还可以过载使用<sup>[1]</sup>。因此,自从这种材料在本世纪 70 年代问世以来,不少学者都对它进行了不懈的试验研究,故其发展很快。目前,国外已有近百种军用和民用飞机都采用了以 C/C 复合材料作为刹车盘的刹车装置(通称碳刹车),我国正在研制的一些机种也把碳刹车作为首选方案。但是,由于常规 CVD 法在致密坯体时容易在其表面形成涂层硬壳,封闭了沉积气体流向坯体内部的通道,这不仅须要反复进行中间机械加工以去除表面硬壳层,而且还必须通过中间高温热处理打开闭口孔隙<sup>[2]</sup>,因而制备周期相当长。另外,制备成本高也是常规 CVD 法的一大缺点,这在很大程度上限制了它的应用与发展。因此,必须对这种常规法进行改进,以便研制出制备周期短和成本低的高性能耐磨 C/C 复合材料。

作者在对 CVD 设备进行重大改进的基础上,设计出一种新的压差法。采用这种改进的压差法制备 CVD 耐磨 C/C 复合材料的周期短、成本低、效率高。本文重点报道以这种方法制取的耐磨 C/C 复合材料的制动性能。

## 1 试验部分

### 1.1 C/C 复合材料的制备

制备耐磨 C/C 复合材料所选用的原材料是吉林碳素厂生产的 1K 高强 I 型聚丙烯腈平纹碳布。首先,将其冲裁成规定的尺寸,在经过石墨化处理后叠层,然后再通过改进的压差

\* 国家“八五”规划和航空基金及航空高校自选课题基金资助项目

1995-11-28 收到初稿,1996-06-16 收到修改稿

本文通讯联系人罗瑞盈

法进行CVD 致密化处理 在采用这种压差法时,借助于炉膛内设置的沉积室和气体定向流动装置,并且配合沉积工艺参数的调整,能够使低温气体快速流动到试样坯体内部进行沉积,因而不必进行中间机械加工和中间高温热处理 致密化所用的沉积气体和载气分别是丙烯和普通氮气 在致密化之后将C/C 复合材料进行高温石墨化处理,接着再将其加工成全尺寸(1 1)飞机刹车盘试样 利用改进的压差法制备的耐磨C/C 复合材料的物理-机械性能见表 1 所列

表 1 用改进的压差法制备的 C/C 复合材料的物理-机械性能

Table 1 The physical-mechanical properties  
of C/C composite prepared by improving pressure gradient t technology

Density /g · cm <sup>-3</sup>	Flexural strength /MPa	Flexural modulus /GPa	Interlam inar shear strength /MPa	A verage linear thermal expansion coefficient /K <sup>-1</sup>
1. 70	220	35. 0	11. 0	0. 5 × 10 <sup>-6</sup>
	( )	( )		

1. 2 摩擦磨损性能试验

摩擦磨损性能试验在图1所示的英国产航空轮胎、机轮、刹车电模拟惯性试验台上进

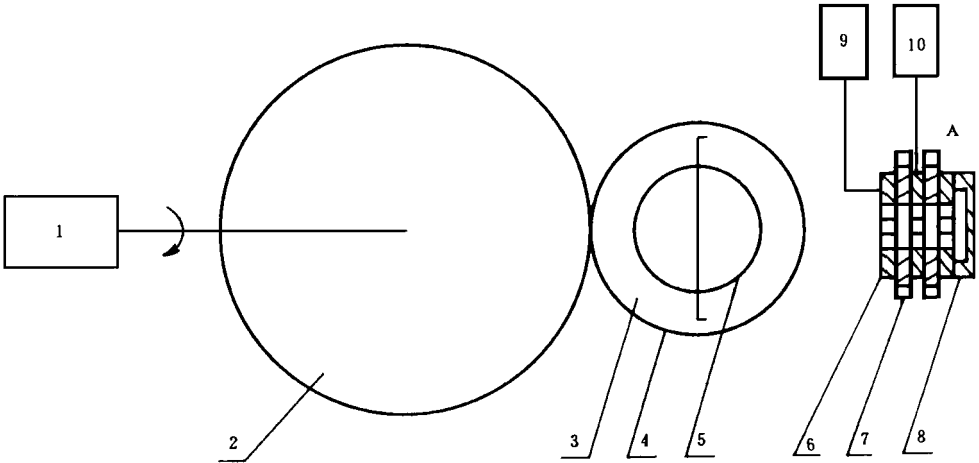


Fig. 1 The structure of inertia dynamic test equipment

1. System of power and simulation, 2 Inertia wheel, 3 Nave, 4 Tyre, 5 C/C disc,  
6 C/C stator, 7 C/C rotor, 8 Hydraulic piston assembly, 9 System  
of record moment, 10 System of measuring temperature

图 1 惯性试验台的结构简明示意图

1. 动力和模拟系统, 2 惯性轮, 3 轮毂, 4 轮胎, 5 碳/碳  
刹车盘, 6 碳/碳静盘, 7 碳/碳动盘, 8 气缸活塞组件, 9 力矩记录系统, 10 测温系统

行. 在给定的试验条件(略)下, 试验测定了C/C 复合材料在刹车过程中的制动力矩随着速度变化的关系曲线, 以及摩擦系数和磨损率等 试验分别在干态(空气介质)和湿态 2 种环

境中进行 其中,湿态是指在C/C复合材料盘上浇人造海水后进行试验 刹车能量分为正常动能、大动能和中止起飞刹车能量等

## 2 试验结果与分析

试验结果表明:在相同的沉积条件下,利用改进的压差法和常规压差法的沉积时间分别为600 h和1 500 h,可见前者所用时间仅为后者的40%;以这2种方法制备的材料密度分别为 $1.70 \text{ g/cm}^3$ 和 $1.50 \text{ g/cm}^3$ 。由此可以看出,改进的压差法的工艺性能明显地比常规压差法的好。

图2示出的是刹车能量和比压对制动力矩-速度曲线的影响 可以看出,刹车能量和比压增大,当速度低于 $260 \text{ km/h}$ 时,在干态下的制动力矩呈现出无波动变化的减小 这是因为在C/C复合材料中,热解碳和碳纤维的微观组织属乱层石墨结构,由于石墨所固有的特性,其在刹车盘摩擦过程中,乱层石墨容易产生层间劈裂,并且在摩擦面上形成按一定方向排列的薄膜,从而使C/C复合材料具有良好的自润滑特性,故其制动力矩-速度曲线在干态下总的变化趋势比较低而平稳

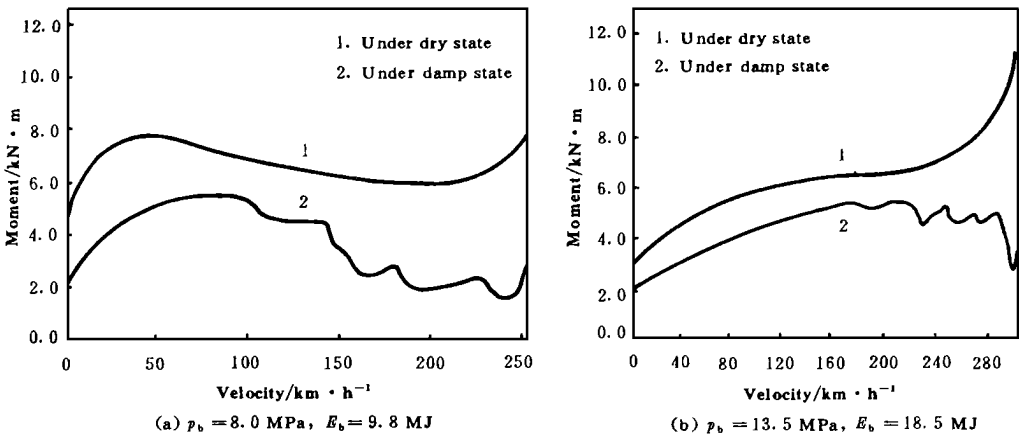


Fig. 2 The effect of brake pressure ( $p_b$ ) and brake energy ( $E_b$ ) on the variations of brake moment with velocity curves

图2 制动比压( $p_b$ )和制动能量( $E_b$ )对制动力矩-速度曲线的影响

研究结果表明,比压和能量越大,制动的减速率越高,所需要的制动时间越短,摩擦面瞬时温度可以高于 $2\,000$  [3],实测静盘的平均体积温度为 $1\,259$ ,大大削弱了乱层石墨的晶间键能[4],提高了摩擦面上碎片状石墨的塑性变形程度,同时也有助于摩擦表面形成定向良好的石墨润滑膜 由此可见,通过改变刹车盘的结构而改变比压和能量分布,能够有效地改善C/C复合材料的摩擦性能

由图2所示还可以看出,在湿态下C/C复合材料的制动力矩波动性明显较大,衰减也比较明显 这是因为在该材料中乱层石墨劈裂面的能量低,而石墨晶体棱缘的活性很高,其在湿态下很容易与水蒸汽发生反应而形成含不同氧化基团的表面[5] 因此,乱层石墨在湿态下是由低能量的劈裂面和明显降低了表面能的棱面所组成,如图3所示

这种情况下, 这些晶面在摩擦过程中的相互作用都小, 所以利用改进的压差法制备的 C/C 复合材料在湿态下的制动力矩衰减较多, 摩擦系数较低。制动过程中由于温度变化造成水分的不断变化, 致使制动力矩波动较大。由此可见, 防水防潮是改善以改进压差法制备的耐磨 C/C 复合材料制动性能的重要措施之一。

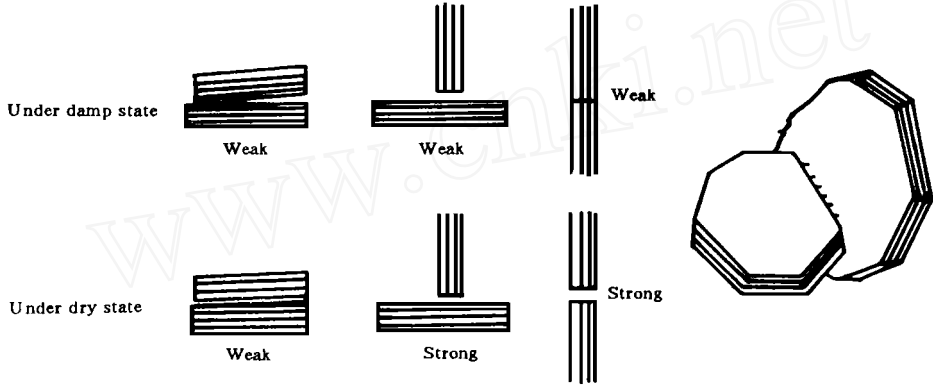


Fig. 3 The mutual action of disorder graphite among C/C composite under different conditions

图3 不同条件下 C/C 复合材料中乱层石墨的相互作用简明示意图

通过 71 次不同制动条件下的模拟试验, 在考察 C/C 复合材料摩擦性能的同时, 也考察了这种材料的耐磨性能。测试的是每个刹车盘的线磨损量, 经过计算得到改进压差法制备的 C/C 复合材料的平均线磨损量每制动 1 次仅为  $9.5 \times 10^{-4}$  mm, 这远比粉末冶金材料飞机刹车盘的线磨损量(一般平均值为  $40 \times 10^{-4}$  mm)低。

研究结果表明, 利用改进的压差法制备的 C/C 复合材料的磨损过程包括较硬的碳纤维微观切削磨去较软的沉积碳碎片, 形成的碎片致密化和摩擦表面膜的形成, 重复的滑动导致摩擦膜的破裂和新的磨损碎片的形成等。在此过程中, 摩擦表面膜的自润滑性起着重要作用, 因而这种材料的磨损率很低。分解观察试验后的刹车制动装置时发现, 耐磨 C/C 复合材料刹车盘的表面光滑, 不存在碎裂和分层等现象。因此, 用改进压差法制备的 C/C 复合材料刹车盘的使用寿命长, 符合飞机刹车要求。

### 3 结论

- a 用改进的压差法制备 CVD C/C 复合材料可使制备周期缩短至原工艺的 40%, 大幅度降低了制备成本, 并且简化了工艺。
- b 利用这种方法制备的 C/C 复合材料具有良好的摩擦磨损性能, 制动力矩曲线平稳, 磨损率远比粉末冶金材料的低。
- c 当制动比压和能量增大时, 制动力矩减小, 在湿态下的制动力矩衰减多, 因此改变刹车盘的结构、防水防潮可以进一步提高其制动性能。
- d 经制动试验后的 C/C 复合材料刹车盘的表面光滑, 未发现碎裂和分层等现象。

### 参 考 文 献

- 1 Murdie N, Ju C P. Microstructure of worn pitch/resin/CV IC-C composites. Carbon, 1991, 29(3): 335~ 342

- 2 Savage G. Carbon-Carbon Composites. London: Chapman & Hall Press, 1992. 95~ 98
- 3 罗瑞盈, 李贺军, 杨峥等. 碳/碳复合材料的摩擦磨损行为研究. 宇航学报, 1996; 17(1): 57~ 61
- 4 中国机械工程学会摩擦学学会《润滑工程》编写组. 润滑工程. 北京: 机械工业出版社, 1986. 148
- 5 鲍登, 泰伯主编. 固体的摩擦与润滑(续篇). 袁汉昌译. 北京: 机械工业出版社, 1986. 238

## The Development of Wear Resistance Carbon/Carbon Composites and Their Brake Properties

Luo Ruiying Yang Zheng Kang Mokuang

(College of Materials Science and Engineering

Northwestern Polytechnical University Xi'an 710072 China)

**Abstract** On the basis of tests and exploration, the ordinary pressure gradient technology (PGT) was improved, deposition chamber and equipment of directional flow for deposited gas was designed, and the technological parameters were simultaneously adjusted, C/C composites were successfully prepared by improving pressure gradient technology (IPGT), in view of the question of long manufacturing cycle and miscellaneous technological process for chemical vapour deposition C/C composites. The producing period can be reduced as much as 60%, and intermediate machining and high temperature heat treatment step during common CVD methods are not necessary, so that the production cost is obviously dropped. The inertia dynamic test of whole dimension sample indicated that the products have not only better friction and wear properties, the stable variation of brake moment with velocity, small specific wear, but also are not delaminated and fractured. The requirement of brake for aeroplane and so on can be fully satisfied.

**Key words** chemical vapour deposition carbon/carbon composite brake discs friction wear brake property