

# 碳短纤维预制件制备工艺研究\*

谈淑咏<sup>1</sup>, 方 峰<sup>2</sup>, 施春陵<sup>2</sup>, 江静华<sup>2</sup>

(1. 盐城工学院 材料科学与工程系, 江苏 盐城 224003)  
(2. 东南大学 材料科学与工程系, 江苏 南京 210096)

**摘 要** 采用 SEM 观察了预处理前后的碳纤维以及碳纤维预制件的形貌。结果表明, 预处理使碳纤维长径比满足制备合格预制件的要求, 并有利于纤维在预制件中的均匀分散及预制件的成型; 本工艺制备出的预制件纤维分布均匀, 表面无团聚, 碳纤维无氧化, 可用于液态模锻法制备碳短纤维增强金属基复合材料。

**关键词** 碳纤维; 碳短纤维预制件; 碳纤维增强金属基复合材料

**中图分类号** TB333

**文献标识码** A

**文章编号** 1671-532X(2003)04-0043-03

碳纤维密度小, 且具有非常优异的力学性能(强度、模量高), 被广泛应用于宇航工业、交通运输、运动器材、土木建筑、医疗器材等方面。而采用碳纤维与多种金属基体复合, 则能够制成高性能的金属基复合材料。如用碳/铝制造的卫星天线、反射镜及卫星用波导管等, 具有良好的刚性和极低的热膨胀系数, 质量比碳/环氧的还轻 30%; 用 Al-Si 合金/12% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 短纤维 + 9% 碳短纤维制造的发动机缸体具有耐磨性好、抗疲劳性好、密度低、高温稳定性好、强度高、减震性强等优点<sup>[1]</sup>。近年来, 随着高性能的碳纤维新品种(如高模量型的碳纤维可达 900 GPa, 高强型的强度可高达 700 MPa)以及新的复合工艺的出现, 为碳/金属基复合材料的发展提供了新的基础<sup>[2]</sup>。

碳短纤维增强金属基复合材料的制备, 一般都采用液态金属渗透短纤维预制件的工艺, 本工艺的关键在于制备出合格的碳纤维预制件。在碳短纤维预制件制备工艺中, 碳纤维长径比是质量控制的关键因素: 当长径比过大时, 预制件成型过程中纤维与纤维之间不易粘结, 表层会出现纤维团聚, 预制件在烘干过程中出现膨胀、分层现象。同时过长纤维的存在, 不但使纤维不易分散, 而且会对基体的连续性产生破坏作用, 最终影响复合材料性能; 当长径比过小时, 纤维只能起着颗粒增

强的作用, 所得复合材料的性能不能满足要求<sup>[3]</sup>。要获得合适的长径比, 就必须对碳纤维进行预处理。

此外, 碳纤维模压预制件强度较低, 不足以抵抗流转与压力渗流过程中外力的作用而导致变形甚至破坏, 所以模压后必须对预制件进行烧结, 使其具有一定的强度<sup>[4]</sup>。但碳纤维在高温下易氧化烧损, 会导致复合材料中纤维在基体上分布不均匀, 并可能伴有空隙存在, 从而降低复合材料力学性能, 所以必须对预制件的烧结气氛进行控制。在此基础上, 本文探讨了碳纤维预制件的制备工艺。

## 1 试验方法

采用湿成型法制备短纤维预制件, 原料选用上海新兴碳素有限公司生产的 5~10 mm 碳短纤维, 并借助 SEM 观察了预处理前后的碳纤维和碳纤维预制件的形貌。

将购买来的碳纤维先进行预处理, 然后把经过预处理的碳纤维放在一定浓度的粘结剂中充分搅拌均匀, 使其在一定形状的模具中受压成型, 最后对预制件进行烘干和烧结。

## 2 试验结果与分析

\* 收稿日期: 2003-09-06

作者简介: 谈淑咏(1976-), 女, 江苏连云港人, 盐城工学院助教, 硕士, 主要研究方向为金属基复合材料。

## 2.1 碳纤维预处理工艺

购买来的碳纤维较长,外观呈黑色束状,纤维表面光亮,纤维之间略有缠绕,如图 1 所示。



图 1 碳纤维预处理前形貌

Fig.1 The appearance of carbon fiber before pretreatment

理论上,由于短纤维增强复合材料中应力是在纤维之间传递的,纤维存在能够传递复合材料最大应力的最小纤维长度,因此使用纤维长度就应大于此最小值,从而对纤维长径比有一定要求。纤维的临界长径比可按下式计算:

$$\frac{l_t}{d_f} = \frac{\sigma_{fu}}{2\tau_y}$$

其中  $l_t$  为外加应力达纤维极限强度时的最小纤维长度,  $d_f$  为纤维直径,  $\sigma_{fu}$  为纤维的极限强度,  $\tau_y$  为基体的屈服应力。

假设纤维强度( $\sigma_{fu} = 3920 \text{ MPa}$ )不受温度的影响,使用的金属基体为 ZL109,常温( $25^\circ\text{C}$ )时的屈服强度  $\tau_y = 195 \text{ MPa}$ ,由此按上式计算得出:常温时应使碳纤维的长径比大于 10.1。经试验,碳纤维的长径比大于 80 时极易导致纤维的团聚、分层,从而得不到合格的预制件。所以本试验长径比控制在 30~70 之间。

碳纤维经过剪切预处理后长径比大大降低,已不再呈束状,纤维之间基本散开,如图 2 所示。此时碳纤维预制件容易成型,且表层均匀,易消除团聚现象。

## 2.2 碳纤维预制件制备工艺

碳纤维预制件制备过程中主要存在两个问题:一是预制件制备过程中的纤维分散;二是为了保证预制件强度而对预制件进行烧结引起的氧化。

针对分散问题,本试验采取了机械方式均匀搅拌和加入适量分散剂相结合的措施。

针对氧化问题,本试验在不影响预制件的烧结效果,确保液态模锻时金属液能完全渗入预制



图 2 碳纤维预处理后形貌

Fig.2 The appearance of carbon fiber after pretreatment 的前提下,适当降低了烧结温度。经试验,  $700^\circ\text{C}$  的烧结温度能够满足要求;同时还对烧结气氛进行了控制,主要采用惰性气体保护工艺。本试验选用氩气作为保护气体,因为氩气的密度高于空气,一旦加热炉中充满氩气,就能很好地阻隔空气进入。为了达到最佳的保护效果,我们还对井式炉中气流的分布进行了合理的设计,尽可能使惰性气体在炉中分布均匀,使每个预制件都能得到同等保护。并且在烧结前,先对装有预制件的井式炉通惰性气体,约 10~15 min 后,氩气基本充满炉子,再对井式炉进行升温。最后,为提高成品质量,本试验在预制件表面覆盖碳粉加以保护。

综上,碳纤维预制件的制备工艺为:把一定量经过预处理的碳纤维,放入一定粘结剂浓度的分散液中,经机械均匀搅拌后,倒入模具,在一定压力下成型,脱模。然后将湿的预制件置于  $300^\circ\text{C}$  烘箱中烘干,接着在有氩气保护的井式炉中加热至  $700^\circ\text{C}$ ,并保温 0.5 h 后出炉,最终获得的预制件如图 3 所示。从图中可以看出,纤维在预制件



图 3 碳纤维预制件内部碳纤维分布的扫描电子显微照片

Fig.3 The SEM photo of the distribution of carbon fiber in preforms

中分布均匀,碳纤维无氧化烧损现象,且预制件具有一定的强度,是合格的预制件。

3 讨论

湿成型法制备碳纤维预制件比较方便、有效，但也存在一些不足，简要分析如下。

本工艺中纤维的长径比是取在一定范围之内，一般情况下，低纤维含量预制件中纤维长径比大些，高纤维含量预制件中纤维长径比小些。因

此，此种预制件制备工艺无法制备出长径比精确一致的预制件。

此外，制备预制件时，虽然大部分碳纤维都被分散，但总是存在某些纤维未被打散，仍呈束状分布，而由于金属液对束内和束间的浸润能力是不同的，导致随后制备出来的碳纤维增强金属基复合材料可能存在铸造缺陷。

参考文献：

[ 1 ] 国家自然科学基金委员会.金属材料学[ M ].北京：科学出版社，1995.  
[ 2 ] 张国定，赵昌正.金属基复合材料[ M ].上海：上海交通大学出版社，1996.  
[ 3 ] 沃丁柱.复合材料大全[ M ].北京：化学工业出版社，2000.  
[ 4 ] 方峰.短纤维预制件强度对铝基复合材料组织的影响[ J ].东南大学学报，2002（ 3 ）：415 - 418.

Study on the Fabrication Processing of  
Carbon Short Fiber Preforms

TAN Shu-yong<sup>1</sup> ,FANG Feng<sup>2</sup> ,SHI Chun-ling<sup>2</sup> ,JIANG Jing-hua<sup>2</sup>

( 1. Department of Materials Science and Engineering of Yancheng Institute of Technology ,Jiangsu Yancheng 224003 ,China )  
( 2. Department of Materials Science and Engineering of Southeast University ,Jiangsu Nanjing 210096 ,China )

**Abstract** :The appearance of carbon fiber before - and - after pretreatment and carbon fiber preforms were observed by scanning electron microscope. The results showed that the ratio between the length and diameter of the pretreated carbon fiber could fabricate qualified preforms. Therefore ,it was beneficial to the well - distributed of fiber and the formation of preforms. The fiber in the carbon fiber preforms made by this processing was well dispersed and no gathering. And there was no carbon fiber oxidized in preforms. This made it possible for fabricating metal matrix composites with carbon short fiber with good properties by squeezing casting.

**Keywords** :carbon fiber ; carbon short fiber preform ; metal matrix composites with carbon fiber