

# 制备石墨纤维的新技术——射频直热法

## New Technique for Manufacturing Graphite Fibers ——Radio-frequency Direct-heating Method

赵稼祥 ( 航天材料及工艺研究所, 北京 100076)

ZHAO Jia-xiang ( Aerospace Research Institute of Materials &  
Processing Technology, Beijing 100076, China)

**摘要:**介绍了我国在石墨纤维研制上取得的新进展——射频直热法生产石墨纤维的新技术, 指出国际上通用的石墨化工艺的缺点、新方法的原理、特色和优点, 并报导了用新技术制备石墨纤维的性能。

**关键词:** 石墨纤维; 石墨化; 射频直热法

中图分类号: T Q 175. 71+4 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 ( 2001) 03-0037-02

**Abstract:** New progress on developing graphite fibers —— Radio-frequency Direct-heating Method was introduced. The disadvantages of traditional graphitization technology, the principals, characteristics and advantages of new method were pointed out. The properties of graphite fibers produced by new technique were also reported.

**Key words:** graphite fibers; graphitization; radio-frequency direct-heating method

碳纤维是先进复合材料最重要的增强材料, 世界各国对发展碳纤维都给予了高度重视。自从“7511”会以来我国已投入大量资金用于研制开发高性能碳纤维, 我国碳纤维从无到有, 从研制到生产取得了一定成绩, 但总体上高性能碳纤维的研制工作进展缓慢, 远远满足不了国防高新技术和国民经济发展的需要<sup>[1]</sup>。

令人高兴的是近期我国在石墨纤维的研制上取得了可喜的新进展。石家庄新谋新科技开发有限公司独创性地研制开发了射频直热法生产石墨纤维的新技术。

石墨纤维是在碳纤维的基础上经过石墨化处理来制备的。碳纤维在2000~3000 并施加牵伸条件下加热, 使纤维中石墨微晶沿轴向取向度增加, 石墨微晶尺寸增大, 层间距减小, 大大提高了石墨化程度。经过石墨化处理后纤维的拉伸模量得到提高, 而拉伸强度和断裂延伸率则有所降低, 这种经过石墨化处理后的碳纤维称为石墨纤维。

国际上通用的石墨化工艺都采用管状石墨化电炉, 碳纤维通过管状石墨化电炉来实现石墨化, 这种石墨化方法存在很多缺点, 主要有: (1) 必须购买昂贵的管状石墨化电炉, 通常一台管状石墨化电炉的价格在几十万甚至上百万美元。而且国外还把管状石墨化电炉作为控制物资, 严格限制出售给中国; (2) 采用管状石墨化电炉属于外热法, 热源的温度必须高于纤维的温度, 亦即管状石墨化电炉炉体的温度必须高

出被加热的纤维温度, 并通过传导/辐射加热纤维, 能耗大、热效率低; (3) 管状石墨化电炉的炉体长期处于高温下工作, 寿命短、消耗大。

射频直热法生产石墨纤维克服了传统的管状石墨化电炉外热法制备石墨纤维的缺点, 有广泛的应用前景。

### 1 原理、特色和优点

射频直热法生产石墨纤维的原理是把碳纤维通过射频电磁场作用的空间, 使纤维内部产生感应电流, 当感应电流通过纤维时, 由于纤维具有一定电阻, 吸收射频能量形成欧姆热。在电流强度足够大时, 纤维就会达到石墨化的温度, 从而完成石墨化过程。

在射频电磁场作用下, 单位体积纤维所吸引的总功率  $Q$  可用下式表达:

$$Q = H_0^2 F \rho / \delta$$

式中:  $Q$  为单位体积纤维所吸引的总功率;  $H_0$  为磁场强度;  $F$  为尺寸系数;  $\rho$  为电阻率;  $\delta$  为趋肤深度。

射频直热法生产石墨纤维的技术关键在于保证电磁场与纤维的最大耦合, 实现射频功率从射频发生器向纤维最大效率的转移。除此之外还需解决像电离现象、辉光放电和毛丝等一系列技术问题<sup>[2]</sup>。石家庄新谋新科技开发有限公司成功地解决了这些技术关键。

用射频直热法生产石墨纤维的最大特色是设计一种特殊谐振腔体——反相激励同轴型驻波反应腔体,成功地解决了电磁场与纤维的最大耦合,实现了最大效率的转移。石家庄新谋新科技开发有限公司拥有射频直热法生产石墨纤维的完全知识产权,国家知识产权局已授予“石墨化纤维制造新工艺及其专用设备”发明专利权,专利号为 ZL98 1 15308.9。

射频直热法生产石墨纤维的优点有: (1) 不需要昂贵的、传统工艺使用的管状石墨化电炉; (2) 石墨化设备投入可大幅度减少; (3) 制备石墨纤维的能耗少; (4) 热惯性小,升到石墨化温度只要几秒钟; (5) 不存在“炉体”烧损问题; (6) 生产石墨纤维成本低。

2 性能

射频直热法生产 1K 石墨纤维的性能由北京化工大学碳纤维及复合材料研究所测试,拉伸强度平均为 3.05GPa、拉伸模量平均 393.2GPa、断裂延伸率平均 0.78%。性能全面达到和超过日本东丽公司 M40 的水平<sup>[3]</sup>。表 1 是射频直热法生产石墨纤维的性能,表 2 是射频直热法生产石墨纤维的性能与日本东丽公司 M40 的比较。从表中可明显地看到,用射频直热法生产石墨纤维在拉伸模量相当的条件下,拉伸强度比 M40 高 10% 以上,而断裂延伸率也高 10% 以上。

表 1 射频直热法生产石墨纤维的性能

Table 1 Properties of graphite fibers produced by radio-frequency-direct-heating method

试样编号	拉伸强度 /GPa	拉伸模量 /GPa	断裂延伸率 /%
1	3.0	389.6	0.77
2	2.58	390.9	0.66
3	3.30	407.4	0.81
4	3.15	393.8	0.80
5	3.05	401.3	0.76
6	3.18	392.6	0.81
7	2.96	384.4	0.77
8	3.15	398.7	0.79
9	3.0	384.6	0.78
10	3.11	388.8	0.80
平均值	3.05	393.2	0.78
C.V %	6.3	1.9	5.6

3 结束语

(1) 射频直热法生产石墨纤维的设备和工艺技术

是我国独创的制备石墨纤维的新技术,由石家庄新谋新科技开发有限公司发明和研制成功的,国家知识产权局已授予“石墨化纤维制造新工艺及其专用设备”发明专利权,专利号为 ZL98 1 15308.9。

表 2 射频直热法生产石墨纤维的性能与日本东丽公司 M40 的比较

Table 2 Comparison of the two kinds of graphite fibers

性能	我国石家庄新谋新科技开发有限公司射频直热法生产的石墨纤维	日本东丽公司生产的 M40 石墨纤维
拉伸强度/GPa	3.05*	2.74 <sup>#</sup>
拉伸模量/GPa	393.2*	392 <sup>#</sup>
断裂延伸率/%	0.78*	0.70 <sup>#</sup>

\* 北京化工大学碳纤维及复合材料研究所测试数据<sup>[4]</sup>

<sup>#</sup> 日本东丽公司报导数据<sup>[5]</sup>

(2) 射频直热生产石墨纤维比当前国际上通用的管状石墨化电炉外热法具有明显的投资小、能耗低、寿命长和成本便宜等优点。

(3) 用射频直热法生产石墨纤维的性能,如拉伸强度、拉伸模量和断裂延伸率等已达到并超过日本东丽公司 M40 石墨纤维的水平。

(4) 射频直热法生产石墨纤维是有广阔前景的新工艺、新设备和新技术,值得引起广泛的重视,建议加强射频直热法生产石墨纤维的应用研究。

参考文献

[1] 赵稼祥,王曼霞. 复合材料用高性能碳纤维的发展和应 用[J]. 《新型炭材料》,2000,(1): 68.

[2] 用高频电磁场加热的方法对碳纤维进行石墨化处理的技术方案与实践,石家庄新谋 新科技开发有限公司,2000,7.

[3] 赵稼祥. 东丽公司碳纤维及其复合材料的进展——国外碳纤维 时展之一 [J]. 高科技纤维与应用,2000,(4): 19.

[4] 碳纤维试验报告,北京化工大学碳纤维及复合材料研究所,2000 年 11 月.

[5] TORAYCA Quality Carbon Fiber, Toray Carbon Fibers America, Inc., 2000.

收稿日期: 2001-01-15

作者简介: 赵稼祥(1933-),男,上海人,现任航天材料及工艺研究所研究员、浙江省碳纤维工程技术研究开发中心专家委员会主任;北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、西北工业大学、大连理工大学、东南大学和中南工业大学兼职教授,主要从事碳纤维及其复合材料应用研究以及军用新材料发展战略研究,联系地址:北京航天材料及工艺研究所(100076)。

本文编辑: 杨 雪