

# 东丽公司碳纤维及其复合材料的进展

赵稼祥

( 航天材料及工艺研究所 北京 100076 )

**文 摘** 在美国第 45 届材料与加工工程促进学会年会与展览共有世界上著名的八家碳纤维公司展出了碳纤维及其复合材料产品。本文简要介绍日本东丽公司碳纤维及其复合材料制品的新发展。

**关键词** 碳纤维,复合材料,东丽公司

## 1 前言

美国第 45 届材料与加工工程促进学会年会与展览会(The 45th SAMPE Conference and Exhibition)共有世界上著名的八家碳纤维公司展出了碳纤维及其复合材料产品,它们是:TORAY CARBON FIBERS AMERICA, INC.; ZOLTEK CORP.; FORTAFIL FIBERS INC.; GRAFIL INC.; BP AMOCO POLYMERS, INC.; HEXEL CORP.; MISTUBISHI CHEMICAL CORP. 和 NIPPON GRAHPITE FIBER CORP.。本文重点报道日本东丽公司在碳纤维和复合材料产品的新进展。

## 2 开发发展碳纤维与复合材料的全球战略

根据碳纤维及其复合材料发展的全球战略考虑,除了日本本土外,对碳纤维、预浸料、碳布及其复

合材料在世界各地进行了布局。在亚洲日本本土东丽公司建立了世界上碳纤维最大生产基地之一的 ESHIME 碳纤维厂,在原有碳纤维生产线的基础上又建立了 1 800 t/y 的碳纤维生产线。在欧洲,法国 ABIDOS 建立了以 SOFICA 为名的碳纤维生产厂,主要生产 T 系列的 T300 和 T800H,M 系列的 M40 和 MJ 系列的 M40J 和 M46J 碳纤维。最近又在美国 ALABAMA 州的 DECATUR 设立了东丽碳纤维(美国)公司,也建成 1 800 t/y 的碳纤维生产线,专门生产高性能碳纤维,包括:T600S、T700S、T700G、M30S 和 M30G。因此,东丽公司在亚洲、欧洲和美洲都有生产碳纤维的基地,并生产不同牌号的碳纤维,以满足不同地区的需求,详见表 1。

表 1 日本东丽公司在世界各地的布点

公司名称	碳纤维	碳布	预浸料	复合材料
TORAY COMPOSITES AMERICA, INC.			*	*
TORAY CARBON FIBER AMERICA, INC.	*			
SOCIETE DESS FIBRES DE CARBONE, S. A.	*			
ADVANCED SPORTING COMPOSITES, INC.				*
SAKAI COMPOSITES CORP.		*		
TORAY SHIGA PLANT				*
TORAY EHIME PLANT	*		*	*

收稿日期:2000 - 06 - 19

赵稼祥,1933 年出生,研究员,主要从事碳纤维及其复合材料应用方面的研究工作

除了碳纤维外,东丽公司还在日本的 SHIMADA 和美国的 TACOMA、WASHINGTON 建立了碳布和预浸料的生产基地,当然在日本的 EHIME 也有预浸料的生产线。与之相适应的碳纤维复合材料除了在美国 TACOMA、WASHINGTON 建有东丽复合材料(美国)公司、日本本土 EHIME 建有东丽爱缓工厂外,还在中国台湾的台中市建有先进体育复合材料公司,在日本 SHIGA 建有东丽 SHIGA 工厂。这四个工厂主要开发先进复合材料。

### 3 发展高性能、廉价碳纤维

在美国第 45 届材料与加工工程促进学会年会与展览上可以明显地看到东丽公司近年重点在发展高性能、廉价碳纤维,亦即重点发展拉伸强度 4 000 MPa ~ 5 000 MPa,而且价格与以前 T300 基本相当的碳纤维品种。表 2 是在这次会上东丽公司展出和介绍的碳纤维<sup>[1]</sup>。把表 2 的碳纤维与以前东丽公司展出和介绍的碳纤维<sup>[2]</sup>相比,有了以下的变化。

表 2 东丽公司的碳纤维与性能

牌号	每束纤维根数 /k	上浆类别	拉伸强度 /MPa	拉伸模量 /GPa	延伸率 / %	线密度 /g · km <sup>-1</sup>	密度 /g cm <sup>-3</sup>	每筒质量 /kg
T300	1 ;3	4;5	3 530	230	1.5	66;198	1.76	1.0;2.0
	6 ;12					396;800		2.0;4.0
T300J	3 ;6 ;	4	4 210	230	1.8	198;396	1.78	2.0;2.0
	12	5				800		4.0
T400H	3 ;6	4	4 410	250	1.8	198;396	1.80	2.0;2.0
T600S	24	5;6	4 140	230	1.8	1 700	1.79	6.0
T700S	12 ;24	5;6;F	4 900	230	2.1	800;1 650	1.80	6.0;6.0
T700G	12 ;24	3	4 900	240	2.0	800;1 650	1.80	6.0;6.0
T800H	6 ;12	4;5	5 490	294	1.9	223;445	1.81	2.0;4.0
T1000G	12	4	6 370	294	2.2	485	1.80	2.0
M35J	6 ;12	5	4 700	343	1.4	225;450	1.75	1.0;2.0
M40J	3 ;6 ;12	5	4 410	377	1.2	113;225;450	1.77	0.5;1.0;2.0
M46J	6 ;12	5	4 210	436	1.0	223;445	1.84	1.0;2.0
M50J	3 ;6	5	4 120	475	0.8	109;218	1.88	0.5;1.0
M55J	6	5	4 020	540	0.8	218	1.91	0.5
M60J	3 ;6	5	3 920	588	0.7	103;206	1.93	0.2;0.4
M30S	18	5	5 490	294	1.9	760	1.73	4.0
M30G	18	1	5 100	294	1.7	760	1.73	4.0
M40	1 ;3	5;4	2 740	392	0.7	61;182	1.81	0.15;1.0
	6 ;12	5				364;728		1.5;4.0

(1) T系碳纤维中增加了 T600S 和 T700G 等新品种碳纤维。亦即拉伸强度为 4 000 MPa ~ 5 000

MPa 的碳纤维。但是基于先进复合材料发展的需要,拉伸强度为 3 530 MPa 的 T300 类型的碳纤维已

经不能满足需求,因此,T300类碳纤维实际上已逐步走向淘汰。必须根据先进复合材料市场发展的需求来开发碳纤维新品种,这是日本东丽公司的重要决策。

(2)大力开发18K和24K的“准”大丝束碳纤维。大丝束碳纤维的价格要比小丝束碳纤维便宜30%~40%,而性能与小丝束碳纤维相当,有的性能甚至还要高。大丝束碳纤维从性能/价格比来看,比小丝束碳纤维具有明显的优势。日本东丽公司以生产高性能小丝束碳纤维闻名于世,主要生产1K、3K、6K和12K的小丝束碳纤维。但近年来,由于大丝束碳纤维在价格上的优势,已经转向发展“准”大丝束碳纤维,亦即发展比大丝束碳纤维丝束小,但比一般小丝束碳纤维丝束大的18K和24K的“准”大丝束碳纤维。从表2中可以清楚地看到,日本东丽公司最新发展的碳纤维品种,象T600S、T700S、T700G、M30S和M30G等,都属于这个范畴。

(3)M系碳纤维中M30和M50等已从提供的碳纤维产品目录中消失。从日本东丽公司在美国第45届材料与加工工程促进学会年会与展览上提供的碳纤维产品目录中,可以明显地发现M系碳纤维中的M30和M50等高模碳纤维已从目录中消失。M50的拉伸模量为490 GPa,拉伸强度只有2450 MPa,延伸率更低,仅为0.5%。显然,这种类别的碳纤维已为性能更好的M系列产品所取代了。例如M50J和M55J碳纤维,拉伸模量相应为475 GPa和540 GPa,拉伸强度高达4120 MPa和4020 MPa,延伸率达0.8%。而M系列中的M30碳纤维,因为性能与M30S和M30G不协调,也从碳纤维产品目录中消失了。

#### 4 发展碳纤维新品种同时,大力开发先进复合材料应用

东丽公司认为,碳纤维生产线的规模小于400 t/y是不会有利润的。因此,东丽公司和世界各大碳纤维生产厂新建立碳纤维生产线的规模大多大于或等于1000 t/y,包括了东丽公司新近建成的两条1800 t/y的碳纤维生产线、阿克苏诺贝尔公司在美国田纳西州诺克斯佛尔建立的1400 t/y的碳纤维生产线和SGL公司在苏格兰建立的1000 t/y的碳纤维生产线。即使年产1000 t以上的碳纤维生产线的利润也是不高的。如果碳纤维的利润是1,那末

开发碳布和预浸料的利润是4~6,而开发复合材料的利润则是10~12,因此,碳纤维公司发展复合材料是必然的。

东丽公司开发的复合材料产品主要包括下列四个领域:

(1)航天、航空产品。象波音777飞机、空间站、高级地球观察卫星、V2500发动机和CANADAIR飞机等构件;

(2)体育休闲用品,包括钓鱼杆、高尔夫球杆、冲浪板和网球拍等;

(3)土木工程和建筑,碳纤维片材,地震后建筑与桥梁的修复和补强,轻质房顶和屋架结构等;

(4)工业应用,各式压力罐、贮气罐、不同尺寸的复合材料辊子、天线反射面和X光机构件等。

在美国45届材料与加工工程促进学会年会上,东丽公司在美国的东丽复合材料公司专门推出了供一般航空工业用的结构复合材料用T700G12KUD T/2510和T700G12K PW F/2510预浸料,表3是东丽公司提供的这两种复合材料的性能数据(临时)。T700G12KUD T/2510是由T700G12K单向带和2510环氧树脂复合制成,复合材料中树脂含量35%(质量分数)。T700G12K单向带面密度为150 g/m<sup>2</sup>,2510多功能环氧树脂的玻璃化转变温度为127℃,固化温度为132℃,可采用真空袋或固化炉固化<sup>[3]</sup>。

由表3可见T700G/环氧2510的0°拉伸强度为2200 MPa,东丽公司以前报道,T300/环氧树脂复合材料的0°拉伸强度为1760 MPa。必须指出,复合材料强度的提高率比碳纤维强度提高率要低,亦即T700G/环氧复合材料的0°拉伸强度比T300/环氧树脂复合材料提高约25%,虽然T700G碳纤维的拉伸强度要比T300高38.8%(前者为4900 MPa,T300则为3530 MPa)。

T700G12K PW F/2510是由T700G12K碳纤维编织的平纹布,幅宽96.5 cm,面密度为193 g/m<sup>2</sup>,T700G12KUD T/2510预浸料中树脂含量为42%。由表3可见T700G12K PW F/2510复合材料0°拉伸强度为917 MPa,远比T700G12KUD T/2510复合材料低,只有T700G12KUD T/2510复合材料的约42%。但T700G12K PW F/2510复合材料的90°方向的性能肯定比T700G12KUD T/2510复合材料要好,虽然,东丽公司没有提供90°方向的性能数据。

表3 T700G 12K UD T/2510 和 T700G 12K PW F/2510 复合材料的性能

材料*	0 拉伸强度 /MPa	0 拉伸模量 /GPa	0 压缩强度 /MPa	0 压缩模量 /GPa	0 短梁剪切强度 /MPa
T700G 12K UD T/2510	2 200	127	1 470	114	95
T700G 12K PW F/2510	917	56	710	55	59
测试方法	ASTM D3039	ASTM D3171/ D2734	SACMA SRM 1	SACMA SRM 1	ASTM D2344

\*T700G 12K UD T/2510 每层厚度 0.15 mm;T700G 12K PW F/2510 每层厚度 0.22 mm。

## 5 高度重视研究开发工作

为了保证东丽公司的产品处于世界领先地位,公司高度重视碳纤维与复合材料的研究开发工作。通常东丽公司有三本帐:一是在生产的,二是在开发的,三是在研究中的。为了发展先进复合材料,如上所述除了在美国 TACOMA、WASHINGTON 建有东丽复合材料(美国)公司、日本本土的 EHIME 建有东丽爱缓工厂、在中国台湾的台中市建有先进体育复合材料公司、在日本的 SHIGA 建有东丽 SHIGA 工厂外,还设立了多处研究开发中心,配合在美国 TACOMA、WASHINGTON 建立的东丽复合材料(美国)公司,在美国 TACOMA 和 WASHINGTON 同时建立了复合材料研究开发中心 (COMPOSITES DEVELOPMENT CENTER 简称 CDC),目的在于研究开发相应的工艺技术,以促进复合材料的发展。

在美国 TACOMA 和 WASHINGTON 建立的复合材料研究开发中心装备有现代化的先进仪器设备,

重点开展纤维缠绕工艺和其他制造工艺的研究,特别是低成本生产技术和质量保证技术。该中心与用户密切合作,对产品开发的每一阶段都从事研究,一直到产品开发成功,并把技术转让给用户为止。

该中心的多轴数控缠绕机可研制生产长度达 4 m 的缠绕件,进行多筒纤维缠绕,树脂自动分配,质量自动控制等。旋转试验设备可以进行  $10^5$  r/min 的高速试验。有开展无损检测的超声波检测设备等。TACOMA 复合材料研究开发中心正在研究开发飞轮组件,包括飞轮转子、飞轮外壳等。

### 参考文献

- 1 TORAYCA Quality Carbon Fiber, Toray Carbon Fibers America, Inc., 2000
- 2 赵稼祥. 日本东丽公司及其碳纤维事业. 高科技纤维与应用, 1998; (2): 16~23
- 3 Structural Composite Materials for General Aviation Markets. Toray Composites (America), Inc., 2000

(上接第 4 页)

- 17 谢军. 北京航空航天大学硕士学位论文, 北京, 1999
- 18 Cao Hengchu, Evans Anthony G. Electric-field-induced fatigue crack growth in piezoelectrics. J. Am. Ceram. Soc., 1994; 77:783~786
- 19 Zhu Ting, Fang Fei, Yang Wei. Fatigue crack growth in ferroelectric ceramics below the coercive field. J. Mater. Sci., 1999; 18:1 025~1 027
- 20 Stewart W C, Cosentino L S. Some optical and electrical switching characteristics of a lead zirconate titanate ferroelectric ceramics. Ferroelectrics, 1970; 1:149~167
- 21 Jiang Q Y, Subbarao E C, Cross L E. Effect of composi-

- tion and temperature on electric fatigue of La-doped lead zirconate titanate ceramics. J. Appl. Phys., 1994; 75:7 433~7 443
- 22 White G S, Raynes A S, Vaudin M D, Freiman S W. Fracture behavior of cyclically loaded PZT. J. Appl. Phys., 1994; 77:2 603~2 608
- 23 Fraser D B, Maldonado J R. Improved aging and switching of lead zirconate-lead titanate ceramics with indium electrodes. J. Appl. Phys., 1970; 41:2 170~2 176
- 24 Jiang Q Y, Subbarao E C, Cross L E. Grain size dependence of electric fatigue behavior of hot pressed PLZT ferroelectric ceramics. Acta metall mater., 1994; 42:3 687~3 694