

# 国产 CCF300 碳纤维 /BMP316 聚酰亚胺树脂基复合材料力学性能研究

## Study on Mechanical Properties of Domestic CCF300 Carbon Fiber/Polyimide Composites

中航复合材料有限责任公司 周洪飞 斯奎阳 灿

**[摘要]** 研究了国产 CCF300 碳纤维 /BMP316 聚酰亚胺树脂基复合材料的力学性能及其断口形貌,并与 T300/BMP316 聚酰亚胺树脂基复合材料的相关性能进行对比,结果表明: CCF300/BMP316 复合材料的力学性能与 T300/BMP316 复合材料基本相当,国产 CCF300 碳纤维可以在高温下替代 T300 碳纤维使用。

**关键词:** 国产碳纤维 聚酰亚胺 力学性能

**[ABSTRACT]** The mechanical properties and appearance of the break of domestic CCF300 carbon fiber/BMP316 polyimide composites are investigated. Compared with T300/BMP316 composites, it is found that the mechanical properties of domestic CCF300/BMP316 composites is similar to T300/BMP316 composites, and domestic CCF300 carbon fiber can be used instead of T300 under high temperature.

**Keywords:** Domestic carbon fiber Polyimide Mechanical properties

近年来,随着国产碳纤维材料的不断发展,开展了大量碳纤维及其与环氧、双马树脂的复合材料力学性能研究<sup>[1-3]</sup>。研究表明,以 CCF300 为代表的国产 T300 级碳纤维及其复合材料的力学性能已经基本达到了 T300 碳纤维及其复合材料的力学性能水平<sup>[4-5]</sup>,并已经开始在飞机、导弹等航空航天构件上替代进口碳纤维批量应用<sup>[6]</sup>。

但这些研究和应用基本都集中在 200℃ 以下的使用温度范围内,而针对发动机高温 (>250℃) 应用的国产碳纤维复合材料性能研究开展很少<sup>[7]</sup>,尚无法对国产碳纤维在高温下的性能情况做出评价。

本文针对国产碳纤维在高温下的应用情况,开展使用温度在 280℃ 的 CCF300/BMP316 聚酰亚胺复合材料力学性能及其断口形貌的研究<sup>[8]</sup>,并与进口碳纤维 T300/BMP316 复合材料的相关性能进行对比,从而对国产碳纤维与高温聚酰亚胺树脂的复合材料性能做出评价。

## 1 试验

### 1.1 原材料

碳纤维: CCF300-3K-5 (山东威海拓展公司) 和 T300 (日本东丽公司); 树脂: BMP316 聚酰亚胺树脂 (中航复材公司)。

### 1.2 仪器

表1 国产碳纤维/聚酰亚胺复合材料室温力学性能

性能	CCF300/BMP316	T300/BMP316
0° 拉伸强度 /MPa	1583	1423
0° 拉伸模量 /GPa	137	142
泊松比	0.3697	0.3623
90° 拉伸强度 /MPa	63.5	77.3
90° 拉伸模量 /GPa	8.20	8.84
0° 压缩强度 /MPa	1295	1161
0° 压缩模量 /GPa	127	133
90° 压缩强度 /MPa	184	197
90° 压缩模量 /GPa	9.56	9.88
纵横剪切强度 /MPa	73.5	92.5
纵横剪切模量 /GPa	4.53	4.71
弯曲强度 /MPa	1518	1609
弯曲模量 /GPa	102	105
层间剪切强度 /MPa	109	108
开孔拉伸强度 /MPa	345	313
开孔压缩强度 /MPa	348	340
冲击后压缩强度 /MPa	183	181
螺栓挤压强度 /MPa	958	1057

表2 国产碳纤维/聚酰亚胺复合材料B基准值

性能	CCF300/BMP316	T300/BMP316
0° 拉伸强度 /MPa	1126	1045
90° 拉伸强度 /MPa	50.6	64.1
0° 压缩强度 /MPa	1068	879
90° 压缩强度 /MPa	150	161
纵横剪切强度 /MPa	66.0	71.9
弯曲强度 /MPa	1402	1508
层间剪切强度 /MPa	102	101

万能材料试验机: INSTRON 1195; 扫描电镜: JSM-35CF; 扫描电子显微镜: 日本 JSM35CF 型。

### 1.3 试样制作

将碳纤维和 BMP316 树脂制成预浸料, 用热压罐在 315℃、2.0MPa 下固化 1h, 得到碳纤维体积分数为 63% 的复合材料板件。

### 1.4 力学性能测试

复合材料的各项力学性能测试按照 ASTM 标准进行。室温性能测试采用 5 批次, 每批次 6 件试件, 计算其平均值和 B 基准值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 力学性能

将制备的 CCF300/BMP316 高温复合材料试件按照 ASTM 标准测试室温和高温力学性能, 并与 T300/BMP316 复合材料的力学性能进行对比。其中, 室温力学性能均为 5 批次性能平均值, 见表 1; 由室温性能计算得到的 B 基准值见表 2。

从表 1、表 2 中可以看出, 在室温下, CCF300/BMP316 复合材料的力学性能与 T300/BMP316 复合材料相比, 只有 90° 拉伸强度、纵横剪切强度的平均值偏低了 20% 左右, 其他性能的差异都在 10% 以内, 表明 CCF300/BMP316 复合材料的室温力学性能与 T300/BMP316 复合材料基本相当。

而两者的 B 基准值中也只有 CCF300/BMP316 复合材料的 90° 拉伸强度 B 基准值偏低了 20%, 其他 B 基准值的差异也大多在 10% 以内, 表明两种材料的 B 基准值也基本相当。

对于 CCF300/BMP316 复合材料和 T300/BMP316 复合材料, 均在 280℃ 下测试了性能, 见表 3。

表3 国产碳纤维/聚酰亚胺复合材料高温力学性能

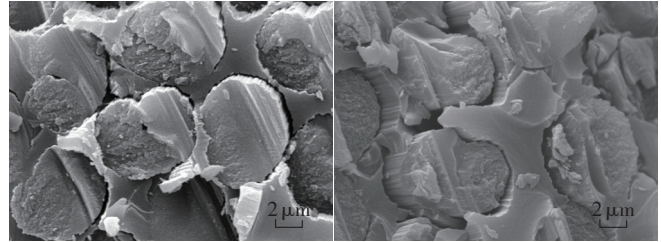
性能	CCF300/BMP316	T300/BMP316
0° 拉伸强度 /MPa	1133	1242
90° 拉伸强度 /MPa	11.6	21.0
0° 压缩强度 /MPa	632	692
90° 压缩强度 /MPa	98	111
纵横剪切强度 /MPa	52.1	57.4
弯曲强度 /MPa	934	1080
弯曲模量 /GPa	111	129
层间剪切强度 /MPa	52.2	55.6
开孔拉伸强度 /MPa	364	361
开孔压缩强度 /MPa	231	288

从表 3 中可以看出, CCF300/BMP316 复合材料和 T300/BMP316 复合材料在 280℃ 下除了 90° 拉伸强度保持率较低外, 其他的强度保持率基本都达到了 50%

以上, 表明 CCF300/BMP316 复合材料高温性能基本达到了 T300/BMP316 复合材料的同等水平, 并且可以满足 280℃ 的使用要求。

### 2.2 断口形貌分析

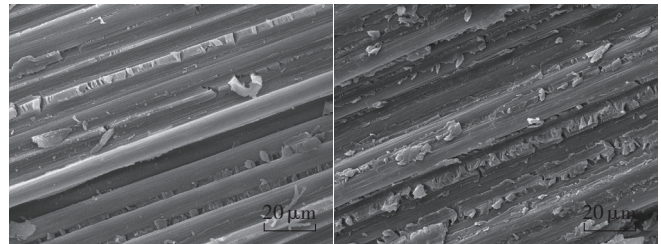
对室温下 CCF300/BMP316 和 T300/BMP316 复合材料试样层间剪切破坏后的断面和剖面进行喷金处理, 用 SEM 观察, 结果见图 1、2。



(a) CCF300/BMP316 (b) T300/BMP316

图1 碳纤维/PI层间剪切试样断面形貌

Fig.1 Fracture appearance of inter-laminar shears sample of carbon fiber/PI



(a) CCF300/BMP316 (b) T300/BMP316

图2 碳纤维/PI层间剪切试样剖面形貌

Fig.2 Profile appearance of inter-laminar shears sample of carbon fiber/PI

由图 1 可看出, CCF300/BMP316 和 T300/BMP316 复合材料断裂时, 断面形貌基本相同, 均有纤维从树脂基体中拔出现象, 纤维周围的树脂与纤维之间脱粘的现象非常明显, 而且树脂自身呈现块状分布。说明聚酰亚胺树脂的脆性较大, 相对于双马、环氧等树脂, 其与碳纤维之间的界面结合较弱。

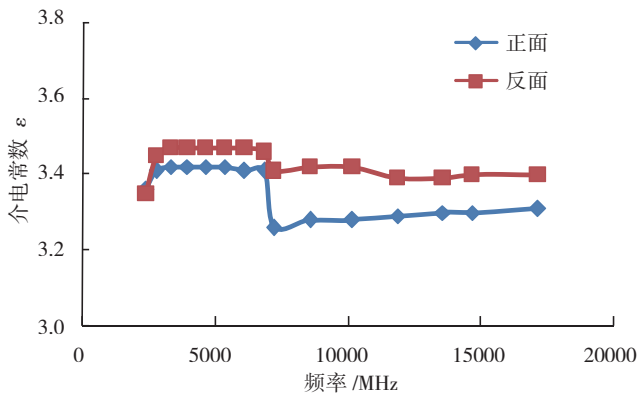
从图 2 的剖面形貌上看, CCF300 和 T300 碳纤维表面均有一些树脂残留, 但 T300 纤维表面相比 CCF300 纤维表面残留的树脂较多, 说明 T300 纤维与聚酰亚胺树脂的界面结合相对较好。这也是 T300/BMP316 复合材料的力学性能相对高于 CCF300/BMP316 复合材料的原因。

## 3 结论

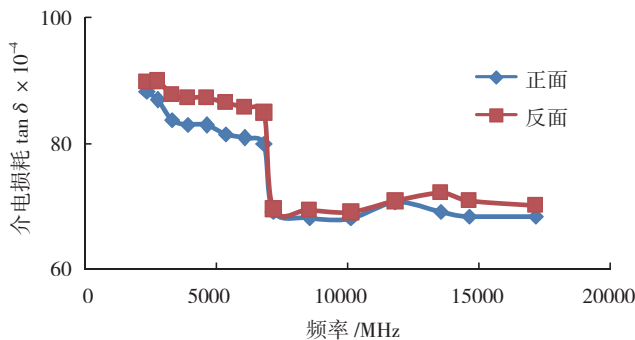
(1) CCF300/BMP316 复合材料和 T300/BMP316 复合材料的室温、高温力学性能和 B 基准值基本相当。

(2) CCF300 碳纤维、T300 碳纤维与聚酰亚胺树脂

(下转第 67 页)



(a) 介电常数



(b) 介电损耗

图5 石英/BA9915复合材料介电性能

Fig.5 Dielectric performance of quartz-glass/BA9915

材料的全频介电性能。

从图 5 (a) 上可以看出石英 /BA9915 复合材料在宽频范围内 (2~18GHz) 具有较低的介电常数和介电损耗,且介电性能较稳定。高频范围内,介电常数和介电损耗均降低,介电常数接近 3.2,介电损耗均值 0.0075,这种低的介电性能使得 BA9915 树脂成功应用于某型雷达罩中。

#### 2.2.2.2 力学性能

表3 石英/BA9915复合材料力学性能

项目	测试温度	平均值
0° 拉伸强度 /MPa	RT	532
	82℃	489
90° 拉伸强度 /MPa	RT	463
	82℃	436
0° 压缩强度 /MPa	RT	475
	82℃	417
90° 压缩强度 /MPa	RT	366
	82℃	369
弯曲强度 /MPa	RT	699
	82℃	592
层间剪切强度 /MPa	RT	76.31
	82℃	65.53

表 3 所示的结果是石英 /BA9915 复合材料力学性能。从表中结果可以看出,复合材料具有优良的力学性能,已经实际应用于透波结构中。

### 3 结论

以氰酸酯为主要原料合成的 BA9915 树脂具有适宜的流变特性,适用于热熔法制备预浸料,可以采用热压罐直接加压固化。BA9915 树脂及其复合材料具有优秀的介电性能,树脂介电常数达 2.8,远低于环氧和双马树脂体系,对于不同频率的稳定性好,适合宽频应用;具有优良的耐热性能和力学性能,已成功应用于某型号中。

#### 参考文献

- [1] 刑雅清,郭扬. 复合材料用氰酸酯树脂基体的性能与应用. 纤维复合材料,1996,3:6-14.
- [2] 王帆,王家,朱亚平,等. 适用于热熔法制备预浸料的氰酸酯树脂的制备. 宇航材料工艺,2009,1:25-28.
- [3] 李文峰,陈淳,王国建. 酚醛型氰酸酯树脂的研究与应用. 材料导报,2006,20(6):44-48.
- [4] 赵清新,寇开昌,毕辉,等. 氰酸酯树脂的研究进展. 中国交联剂,2012,19(6):49-53.
- [5] 钟翔屿,包建文,李晔,等. 5528 氰酸酯树脂性能研究. 高科技纤维与应用,2007,32(5):14-17.

(责编 小城)

(上接第 64 页)

的界面结合较弱,其中, T300 碳纤维与界面结合相对较好。

(3) 综合 CCF300/BMP316 复合材料的性能,国产 CCF300 碳纤维可以在高温下替代 T300 碳纤维使用。

#### 参考文献

- [1] 郭慧,黄玉东,刘丽,等. T300 和国产碳纤维本体的力学性能对比及其分析. 宇航学报,2009,30(5):2068-2072.
- [2] 封彤波,肇研,罗云烽,等. 不同上浆剂的国产碳纤维复合材料湿热性能研究. 材料工程,2009,10:36-40.
- [3] 隋晓东,梁成利,刘文博,等. 高温老化对碳纤维增强双马来酰亚胺树脂基复合材料力学性能的影响研究. 纤维复合材料,2011,1:21-23.
- [4] 李书乡,马全胜,刘清田. 国产碳纤维现状及 CCF300 质量稳定性提高. 材料工程,2009, S2:207-210.
- [5] 傅惠民,杨雨松,张勇波. 国产碳纤维 CCF300 与 T300 碳纤维复合材料拉伸载荷下的失效模式分析. 航空动力学报,2010,25(10):2163-2169.
- [6] 邵英翠,闫伟,王立朋. 国产 T300 碳纤维格栅加筋圆筒轴压稳定性研究. 强度与环境,2010,37(6):46-50.
- [7] 李伟东,王岭,王云英,等. 上浆剂对国产碳纤维 / 聚酰亚胺复合材料界面性能的影响. 失效分析与预防,2010,5(3):135-139.
- [8] 张敏,朱波,王成国,等. 用 SEM 研究碳纤维的表面及断口形貌. 功能材料,2010,10:1731-1733.

(责编 谷雨)