

国产 T700 级碳纤维及复合材料性能表征

张海燕 李根臣 刘震宇 王义师 邵 蒙 王存铎 郑素萍 孟昭瑞 王昭硕 魏化震

(山东非金属材料研究所, 济南 250031)

摘 要 研究了两种国产 T700 级碳纤维微观形貌以及相应的环氧树脂基复合材料的基本力学性能, 并与日本东丽 T700 碳纤维进行比较。结果发现, 与表面光滑的东丽 T700 碳纤维相比, 国产碳纤维表面有颗粒附着, 呈凹凸不平的形貌; 国产 I 型和东丽碳纤维较国产 II 型碳纤维的力学性能稳定性更好, 国产 I 型碳纤维与东丽纤维力学性能数据相近, 其中国产 I 型碳纤维复合材料拉伸强度为 2323MPa、拉伸弹性模量为 143GPa、弯曲强度为 2327MPa、弯曲弹性模量为 140GPa。

关键词 国产 T700 级碳纤维, 东丽 T700 碳纤维, 表面形貌, 碳纤维增强环氧树脂基复合材料, 力学性能

Characterization of domestic T700 grade CF and composite

Zhang Haiyan Li Genchen Liu Zhenyu Wang Yishi Shao Meng Wang Cunduo
Zheng Suping Meng Zhaorui Wang Zhaoshuo Wei Huazhen

(Shandong Research Institute of Nonmetal Material, Jinan 250031)

Abstract The micro-morphology of two kinds of domestic T700 grade carbon fibers (CF) and the basic mechanical properties of the corresponding epoxy resin matrix composites were studied. Compared with the Toray T700 CF, two kinds of domestic CF and composites could realize the comprehensive and systematic evaluation of the properties. The conclusions were as follows: first, compared with the smooth surface of Toray T700, the surface of domestic CF had granular adhesion and uneven appearance. Meanwhile the mechanical properties of domestic type I and Toray CF were better than those of domestic type II. The mechanical properties of domestic type I were similar to those of Toray, and the difference was less than 2%. The tensile strength, elastic modulus, flexural strength and flexural modulus of domestic type I composites were 2323MPa, 143GPa, 2327MPa and 140GPa respectively.

Key words domestic T700 grade CF, Toray T700 CF, surface morphology, CF reinforced epoxy resin matrix composite, mechanical property

碳纤维增强树脂基复合材料^[1]作为航空航天领域的重要先进材料之一, 正受到越来越多的关注。碳纤维复合材料不仅应用于军事领域^[2-3], 其在民用方面也有广泛的发展空间。因此, 越来越多的国家把目光放在了碳纤维领域。为了摆脱国外碳纤维生产企业的垄断封锁, 经过长期不断的努力, 国内掀起了一股生产碳纤维的热潮^[4-6], 并取得了阶段性成果。目前, 国产碳纤维的力学性能已经有了显著提高^[7-10]。拉伸和弯曲性能是最基本的材料力学性能^[11-14], 性能实验是确定材料规范和结构设计所需的最基本的性能实验^[15]。为了解国产碳纤维的性能, 促进碳纤维国产化进程, 使国产碳纤维在高新技术领域得到更广泛的应用, 本实验对两种国产碳纤维的表面性能及其复合材料的基本力学性能与东丽

碳纤维进行了比较^[16-17], 为高温固化碳纤维复合材料的设计提供重要的实验依据和理论基础, 并为实现碳纤维的国产化以及国产碳纤维在航空航天等高新技术领域的广泛应用提供必要的参考数据^[18-19]。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

环氧树脂 E51, 江苏三木化工股份有限公司; 两种国产 T700 级碳纤维(以下简称“国产碳纤维”)分别为两家国内碳纤维生产企业提供, 分别编号为 I 型和 II 型; 用于对比的进口碳纤维为日本东丽公司生产的 T700 级碳纤维(编号为 III)。3 种碳纤维束丝规格均为 12K。

扫描电子显微镜(SEM, QUANTA 200), 美国

FEI 公司制造;缠绕机(VG3FW-1300),上海万格复合材料技术有限公司;液压机(XLB-400×400×1),上海齐才液压机械有限公司;RGT-10A 微机控制电子万能试验机(5966 5969 型),英国英斯特朗公司。

1.2 预浸料和单向板的制备

预浸料的制备:采用湿法预浸工艺制备预浸料,预浸料厚度为 0.1mm。

层压板的制备:层压板用预浸料裁剪尺寸为 250mm×230mm,沿纤维方向长为 250mm,按照 0° 方向铺层^[20],铺设层数 20 层,厚度 2±0.2mm。

模压成型:固化成型工艺如图 1 所示,模温 70℃ 入模,以 1~3℃/min 升温速率升温至 125~135℃,保温 15±2min 后,加压,压力为 15MPa;以

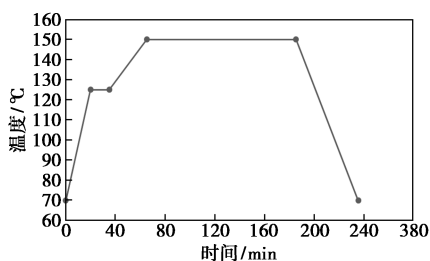


图 1 固化成型工艺曲线

1~3℃/min 升温速率升温至 150±10℃,保温 120±10min;再保压冷却至 70℃ 以下出模,制得厚度为 2±0.2mm 的层压板。

拉伸和弯曲性能测试试样分别按照 GB/T 3354—2014 和 GB/T 3356—2014 要求加工。

1.3 性能测试

拉伸性能和弯曲性能分别按照 GB/T 3354—2014 定向纤维增强塑料拉伸性能试验方法和 GB/T 3356—2014 单向纤维增强塑料弯曲性能试验方法测试。

2 结果与讨论

2.1 SEM 分析

通过扫描电镜对比观察了纤维的微观形貌,结果如图 2 所示。分别观察了放大倍数为×2000、×5000 和×10000 的 SEM 图,可见,国产 I 型纤维[图 2(a)]和国产 II 型纤维[图 2(b)]表面有颗粒附着,凹凸不平,东丽纤维[图 2(c)]则表面光滑。由此可见,国产纤维表面处理技术相对较差,这样可能会降低纤维强度的发挥率,导致产品性能稳定性差。

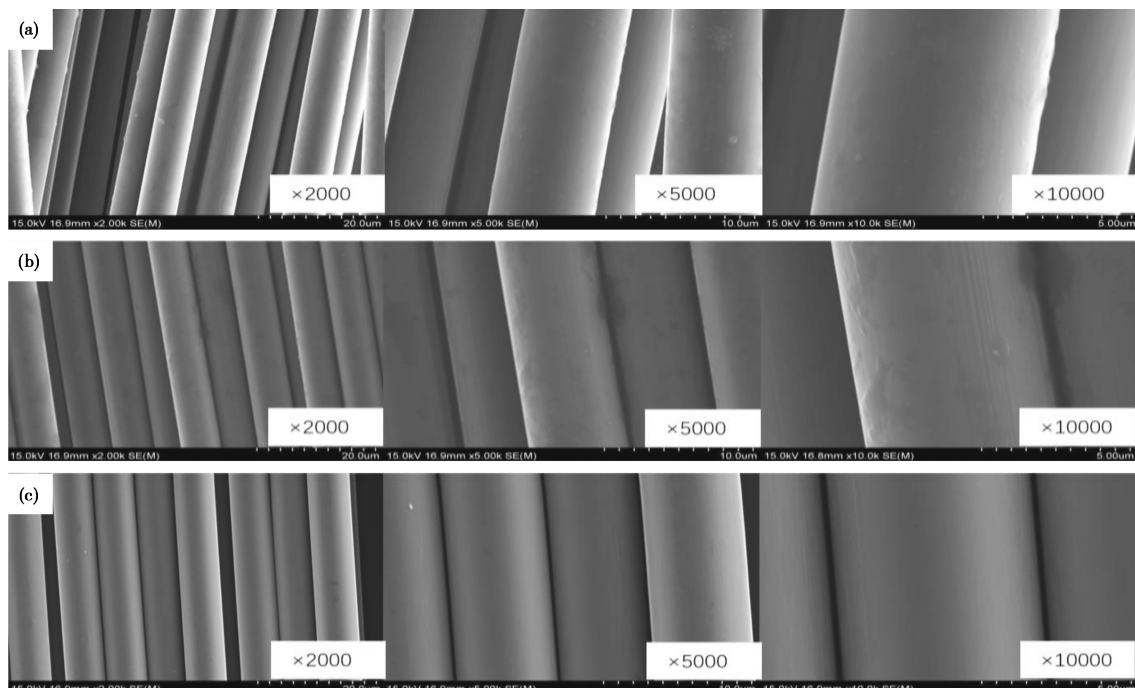


图 2 3 种纤维的 SEM 图

[(a) 国产 I 型纤维;(b) 国产 II 型纤维;(c) 东丽纤维]

2.2 复合材料力学性能对比

根据环氧树脂增强碳纤维复合材料模压工艺(图 1)来压制单向碳纤维复合材料层合板,根据 GB/T 3354—2014 和 GB/T 3356—2014 进行制样

加工,并对 3 种碳纤维复合材料性能进行检测,结果分别见表 1、表 2 和表 3。由表可见,3 种纤维的拉伸强度均在 2323M~2381MPa 范围内;但是从离散系数考虑,东丽纤维比两种国产纤维的离散系数更

小,说明东丽纤维试样的性能稳定性更好。从弯曲强度来看,东丽纤维为 2121MPa,国产 I 型纤维为 2327MPa,国产 II 型纤维为 2489MPa;但从离散系数比较来看,东丽和国产 I 型纤维只有 0.05 左右,表明二者比国产 II 型纤维的性能更稳定。

表 1 国产 I 型碳纤维复合材料性能表

样品	拉伸强度/ MPa	拉伸模量/ GPa	弯曲强度/ MPa	弯曲模量/ GPa
I	2226	145.8	2536	153.0
I-1	2020	142.5	2218	139.2
I-2	2510	143.8	2274	129.6
I-3	2658	147.8	2252	135.0
I-4	2024	139.6	2390	142.8
I-5	2502	140.6	2294	140.6
均值	2323	143.0	2327	140.0
离散系数	0.12	0.021	0.050	0.056

表 2 国产 II 型碳纤维复合材料性能表

样品	拉伸强度/ MPa	拉伸模量/ GPa	弯曲强度/ MPa	弯曲模量/ GPa
II	2282	147.4	2716	162.0
II-1	2646	144.6	2676	143.0
II-2	2552	144.6	2536	143.0
II-3	2234	136.0	2668	145.2
II-4	2406	141.8	2202	134.8
II-5	1902	139.4	2136	134.8
均值	2337	142.3	2489	143.8
离散系数	0.11	0.029	0.10	0.069

表 3 东丽碳纤维复合材料性能表

样品	拉伸强度/ MPa	拉伸模量/ GPa	弯曲强度/ MPa	弯曲模量/ GPa
III	2194	141.0	2154	124.2
III-1	2430	149.0	2194	136.6
III-2	2372	145.0	2196	133.8
III-3	2326	152.6	2176	132.8
III-4	2622	139.0	2127	126.0
III-5	2342	135.2	1876	125.6
均值	2381	143.6	2121	129.8
离散系数	0.059	0.045	0.058	0.040

3 结论

通过对国产 I 型、国产 II 型和东丽 3 个厂家的碳纤维微观形貌以及相应的增强环氧树脂基复合材料的研究得到如下结论:

(1)通过扫描电镜对比观察了不同放大倍数下纤维的表面形貌,其中国产纤维表面有颗粒附着,凹凸不平,东丽纤维则表面光滑,表明国产纤维的表面处理技术还有待提高。下一步,需要深入研究改善国产碳纤维表面形貌的方法,以提高纤维的强度发挥

率,实现国产碳纤维赶超世界高性能碳纤维的目标。

(2)国产 I 型碳纤维比国产 II 型的拉伸和弯曲性能稳定性更好,而且国产 I 型碳纤维的拉伸和弯曲性能可以与进口碳纤维相媲美,其拉伸强度为 2323MPa、拉伸弹性模量为 143GPa、弯曲强度为 2327MPa、弯曲弹性模量为 140GPa。系统地表征国产碳纤维的力学性能,对于评价国产纤维以及进一步提高国产碳纤维的主要性能指标具有重要的指导意义^[21]。

参考文献

- [1] 张新元,何碧霞,李建利,等.高性能碳纤维性能及其应用[J].棉纺织技术,2011,39(4):269-272.
- [2] 林红,赵凯,余建华,等.碳纤维产业发展态势分析[J].新材料产业,2007(4):33-36.
- [3] 冯丽,闻艳萍.我国碳纤维的发展现状及建议[J].进展与评述,2012(1):5-8.
- [4] 冯闻,徐梁华.围绕市场发展国产碳纤维制备及其应用技术[J].高科技纤维与应用,2013,38(3):12-24.
- [5] 钱伯章.国内外碳纤维应用领域、市场需求以及碳纤维产能的进展(2)[J].高科技纤维与应用,2010,35(2):29-33.
- [6] 钱伯章.国内外碳纤维应用领域、市场需求以及碳纤维产能的进展(1)[J].高科技纤维与应用,2009,34(5):37-42.
- [7] 张国腾,陈蔚岗,杨波,等.T700 碳纤维/环氧复合材料力学性能试验研究[J].纤维复合材料,2009,6(2):49-52.
- [8] 卢敏.高温固化碳纤维复合材料应用性能试验研究[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [9] 高全喜,郑威,孔令美,等.表面处理剂对碳纤维复合材料力学性能的影响[J].玻璃钢/复合材料,2014(8):11-15.
- [10] 王世明.温度与湿度环境对碳纤维复合材料力学行为的影响研究[D].南京:南京航空航天大学,2011.
- [11] 吴宝昌.碳纤维复合材料层压板的力学性能及缺陷分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [12] 乌云其格.中温固化高性能环氧树脂基碳纤维复合材料性能研究[J].高科技纤维与应用,2016,41(2):48-55.
- [13] 王自柯,咸贵军,李惠.国产碳纤维拉伸性能研究[J].工业建筑,2013,43(6):1-4.
- [14] 武玉芬,张博明.碳纤维拉伸强度的离散性分析[J].玻璃钢/复合材料,2010(3):29-30.
- [15] 申宏旋,毛丽贺.国产碳纤维与东丽碳纤维的性能[J].纺织科技进展,2017(6):35-37.
- [16] 付瑶,蒋元力,曹国喜.国产碳纤维与东丽碳纤维与 PP 复合材料性能的对比研究[J].化工新型材料,2014,42(6):152-159.
- [17] 李国丽,彭公秋,王迎芬,等.国产 T700 级碳纤维增强双马树脂基复合材料的力学性能[J].航空材料学报,2017,37(2):63-72.
- [18] 王晓洁,梁国正,张炜,等.高性能碳纤维表面分析及其力学性能研究[J].航空材料学报,2006,26(4):119-122.
- [19] 李文可.国产碳纤维复合材料基本力学性能试验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [20] 周祝林,徐健.纤维复合材料的方向性性能及与强度准则的关系[J].玻璃钢,2001(4):5-16.
- [21] 贺福.研制高性能碳纤维是当务之急[J].高科技纤维与应用,2010,35(1):14-27.

收稿日期:2018-12-07