

碳纤维复合材料结构件自然老化试验研究

张海燕 李根臣 王义师 刘亚平 邵 蒙 刘震宇 刘晓飞 魏化震

(山东非金属材料研究所, 济南 250031)

摘 要 在自然环境条件下,从表面、力学性能以及内部结构对碳纤维复合材料结构件(CFRP)在海南省万宁市、黑龙江省漠河县以及山东省济南市 3 个储藏地进行了 12a 的老化性能研究,利用扫描电子显微镜、CT 探测仪以及电子万能试验机等分析研究了结构件的微观形貌、内部结构变化以及结构件承载性能。结果表明,该结构件经过 12a 的自然老化后,表面光滑,没有裸露纤维,并且没有降解老化现象,内部结构和力学性能非常稳定,不受储藏地域及时间的影响,挠度值保持在 15.3~18.1mm 之间,离散系数只有 0.05。

关键词 碳纤维复合材料结构件,自然老化,微观形貌,力学性能,内部质量

Study on environmental aging of CFRP structure

Zhang Haiyan Li Genchen Wang Yishi Liu Yaping Shao Meng

Liu Zhenyu Liu Xiaofei Wei Huazhen

(Shandong Nonmetal Material Research Institute, Jinan 250031)

Abstract The experiment of natural aging durability of carbon fiber reinforced plastic structures in Wanning city of Hainan province, Mohe county of Heilongjiang province and Jinan city of Shandong province were carried out for 12 years. The microscopic morphology, internal quality and mechanical property were studied by scanning electron microscope, CT detector and electronic universal testing machine. The results showed that after 12 years of natural aging, the surface of structures was as smooth as the one before aging experiment and had no bare fiber. Meanwhile there was no degradation of resin. The internal quality and mechanical properties was stable. The value of deflection was between 15.3~18.1mm, at the same time the dispersion coefficient was only 0.05, not subject to the effect of geographical areas and storage time for 12 years.

Key words carbon fiber reinforced plastic structure, environmental aging, microscopic morphology, mechanical property, internal quality

碳纤维复合材料以其高比强度与比模量、优异的抗疲劳性能、耐腐蚀性能与可设计性强等特点,在对自身质量要求极为敏感的航空、航天和体育用品等领域得到了广泛应用。尤其是在航空领域,用它代替金属材料来制造飞机零部件,可使零部件的质量减少 25%~50%。复合材料已用于军用飞机的机翼、机身、直升机旋翼、桨毂、发动机机匣和叶片等主承力构件以及民航大型客机的尾翼、副翼等部位。先进的复合材料在飞机上的用量及其性能水平已经成为飞机先进性的重要考核标志之一。尽管复合材料具有很好的耐腐蚀性能,但是上述的这些领域应用的复合材料构件在加工、储存和应用中,会接触空气、水和阳光等^[1-3],聚合物对这些环境因素的作用

比较敏感,易受这些因素影响而发生老化^[4]。因此,复合材料在使用环境下耐老化性能的研究就显得十分重要。

复合材料的老化试验^[5]分为两种:一种是自然老化方法^[6-7],即利用自然环境自然老化的方法,一般试验时间比较长;另一种是实验室人工加速老化^[8-11]的方法,即根据结构件实际的工作环境,在实验室中强化某些方面的影响因素,在短时间内获得实验结果。大多数研究者都是采用实验室加速老化实验的方法。而对纤维增强复合材料自然老化的研究较少,这是因为与加速老化相比,自然老化实验周期长,代价高,但自然老化能够较好地考虑多环境参数对复合材料耦合作用影响。而且老化实验的研

究仅仅局限于材料级,关于碳纤维复合材料产品级结构件的 自然老化的研究极为少见^[12-13]。

本研究从结构件的表观、性能以及内部结构等方面对碳纤维复合材料构件在自然环境中的老化进行了深入研究^[14-15], 以期 为复合材料产品的设计、制造、使用和维护提供参考依据。

1 实验部分

1.1 材料与设备

碳纤维复合材料结构件(采用模压成型得到的成品级制品), 山东非金属材料研究所。

RGT-10A 微机控制电子万能试验机(5966 5969 型), 英国英斯特朗公司; 扫描电子显微镜(SEM, QUANTA 200 型), 美国 FEI 公司; CT 探测仪(GTCT-450 型), 德国依科视朗公司。

1.2 贮存场地

在自然环境条件下, 将结构件分别储藏在海南省万宁市、黑龙江省漠河县以及山东省济南市的 3 个实验室室内的储藏柜中, 每个存放点投样 8 个, 共 24 个结构件样品, 研究周期 12a, 每次每个存放点取样 2 个。

1.3 表面结构和微观形貌观察

通过目测观察老化试样结构件表面结构有无变化。采用扫描电子显微镜(SEM, QUANTA 200 型, 美国 FEI 公司)对老化试样结构件表层微观形貌进行观察。

1.4 挠度测试

采用 RGT-10A 微机控制电子万能试验机(5966 5969 型, 英国英斯特朗公司)对结构件的挠度进行测试, 温度为(23±2)℃, 相对湿度为(50±5)%, 速度 2mm/min。

1.5 内部结构测试

采用 CT 探测仪(GTCT-450 型, 德国依科视朗公司)对结构件的内部结构进行测试。

2 结果与讨论

从 2005 年开始投样, 到 2016 实验结束, 每次都 对老化试样结构件进行挠度的测试, 观察了分别在 2005 年和 2016 年结构件的表观和微观形貌, 并考察了结构件内部结构的变化。

2.1 表观和微观形貌分析

对储藏 30d(2016 年制造)、1a、2a、3a 和 11a(2005 年制造)的结构件进行测试, 通过观察结构件表面, 以上 5 种不同存放时间和地点的结构件的表

面均光滑平整。通过切割试样, 并观察结构件的断面结构。从观察结果可知, 不论存放时间早晚, 结构件的层间结构都非常密实, 以上 5 种结构件基本没有差别, 表面和层间结构保持良好。

对储藏 30d(2016 年制造)、储藏 11a(2005 年制造)的结构件进行微观形貌考查, 结果见图 1。从图 1(a)可以看出, 结构件的碳纤维表面均匀粘附着树脂层, 内部纤维间完全浸润树脂。从图 1(b)可以观察到, 储藏 11a 结构件的纤维与纤维之间无空隙, 均由树脂均匀填充, 结构件的内部结构与图 1(a)没有差别。因此, 结构件经过 11a 的老化, 其内部结构与 30d 左右的结构件并无差别, 几乎没有树脂降解以及纤维紊乱的现象, 老化前后树脂与碳纤维粘结性能都非常好, 说明经过 11a 的储藏, 结构件内部的结构仍然非常稳定, 因此该结构件耐老化性能良好。

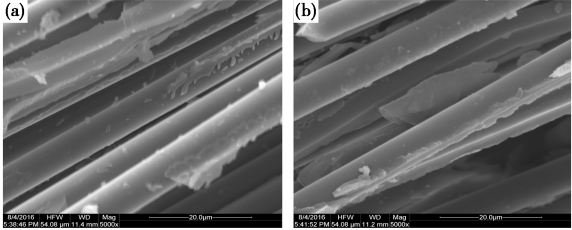


图 1 储藏 30d(a)和 11a(b)结构件的 SEM 图

2.2 挠度值、离散系数分析

采用 RGT-10A 微机控制电子万能试验机(5966 5969 型, 英国英斯特朗公司)对不同储藏时间、地点的结构件进行挠度测试, 结果见表 1。从表 1 可知, 不同地点储藏 3a 的结构件挠度值在 15.4~17.8mm 之间, 离散系数为 0.05; 不同地点储藏 12a 的结构件挠度值在 15.9~18.1mm 之间, 离散系数为 0.05; 以上结果表明, 不同地点储藏 3a 与储藏 12a 的结构件的挠度值相差很小, 离散系数相同, 不同地点储藏 12a 的结构件不受地域及储藏时间的影响, 结构件承载力学性能非常稳定, 均能满足使用要求。

表 1 不同储藏时间、地点结构件的挠度

储藏地点	测试项目	挠度/mm
海南省万宁市	常温储藏 3a, 挠度	15.8~16.9
黑龙江省漠河县	常温储藏 3a, 挠度	16.1~17.8
山东省济南市	常温储藏 3a, 挠度	15.4~16.8
常温储藏 3a 的离散系数		0.05
海南省万宁市	常温储藏 6a, 挠度	15.3~16.7
黑龙江省漠河县	常温储藏 6a, 挠度	15.8~16.9

续表		
储藏地点	测试项目	挠度/mm
山东省济南市	常温储藏 6a, 挠度	15.3~16.3
常温储藏 6a 的离散系数		0.04
海南省万宁市	常温储藏 9a, 挠度	16.9~17.2
黑龙江省漠河县	常温储藏 9a, 挠度	16.6~16.8
山东省济南市	常温储藏 9a, 挠度	15.9~17.5
常温储藏 9a 的离散系数		0.03
海南省万宁市	常温储藏 12a, 挠度	16.7~15.9
黑龙江省漠河县	常温储藏 12a, 挠度	17.4~18.1
山东省济南市	常温储藏 12a, 挠度	16.4~17.9
常温储藏 12a 的离散系数		0.05

2.3 内部结构分析

采用 CT 探测仪(GTCT-450 型,德国依科视朗公司)对结构件在 2011 年与 2016 年进行测试,见图 2。从图可以看出,对结构件在 2011 年[见图(a)]与 2016 年[见图(b)]测试的结果显示,结构件的内部结构基本没有变化,结构件的内部结构均匀,均无明显的气孔出现,说明这个结构件的密实度一致,内部结构稳定,结构件经过 5a 储藏,其内部结构完全没有变化,说明结构件耐老化性能优良。

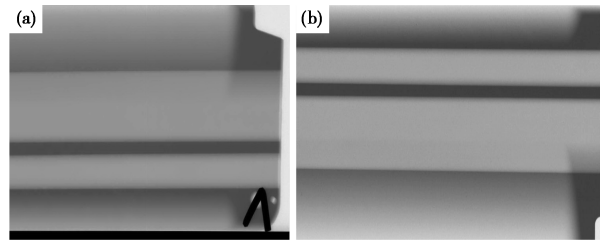


图 2 结构件在 2011 年(a)、2016 年(b)的 CT 透射图

3 结论

在自然环境条件下,对储藏 12a 的碳纤维增强复合材料结构件进行老化分析,研究结果表明:(1)结构件表面光滑,没有裸露纤维;(2)结构件内部结构没有变化,与储藏 30d 的结构件的内部结构没有差别,纤维与树脂粘结状态良好,没有空隙,纤维与树脂均匀排布,结构件没有降解老化现象;(3)结构件在不同地点储藏 12a 的周期中,结构件的挠度值保持在 15.3~18.1mm 之间,离散系数只有 0.05,

结构件承载力学性能非常稳定,不受储藏地域及时间的影响;(4)通过 CT 探测仪对结构件在 2011 年与 2016 年分别进行的测试,从 CT 透射图表明结构件密实度一致,内部结构稳定,不受储藏地点和时间的影 响,由树脂基碳纤维复合材料通过模压成型的结构件耐老化性能优良。

参考文献

[1] 詹茂盛,刘德顺.玻纤增强环氧树脂复合材料的酸雨循环性能与机理[J].玻璃钢/复合材料,2007(3):28-32.

[2] 马婷婷,白树林,罗瑞盈.碳纤维增强环氧树脂复合材料在水中老化后的力学性能与破坏机理[C].宜昌:中国宇航协会,2006.

[3] Tsai T I,Bosze E J,Barjasteh E,et al.Influence of hygrothermal environment on thermal and mechanical properties of carbon fiber/fiberglass hybrid composites[J].Composites Science and Technology,2009,69(3/4):432-437.

[4] 李树娟,钟焕荣,李智,等.纤维及其复合材料老化机理研究进展[J].合成材料老化与应用,2013,42(6):54-58.

[5] 刘旭,陈跃良,张玎,等.温度-湿度-时间因素对聚合物基复合材料性能影响研究[J].装备环境工程,2011,8(2):20-24.

[6] 张代军,李晔,钟翔屿,等.T700/5228 碳纤维复合材料自然老化性能研究[C].北京:中国宇航协会,2012.

[7] 刘明,孙志华,张晓云,等.复合材料自然环境老化试验方法[C].北京:中国硅酸盐学会,2010.

[8] 卢东滨,陈平,白天,等.复合材料薄壁结构老化性能研究[J].玻璃钢/复合材料,2014(6):48-51.

[9] 何纯雷,于运花,李小超,等.碳纤维/环氧树脂复合材料加速热氧老化研究[J].玻璃钢/复合材料,2012(2):25-29.

[10] Nakada M,Miyano Y.Accelerated testing for long-term fatigue strength of various FRP laminates for marine use[J].Composites Science and Technology,2009,69(8):805-813.

[11] 刘旭,陈跃良,霍武军,等.碳纤维复合材料湿热老化加速关系[J].南京航空航天大学学报,2014,46(3):382-388.

[12] 张亚娟,齐暑华.复合材料老化方法研究进展[J].工程塑料应用,2002,30(1):39-41.

[13] 王云英,刘杰,孟江燕.纤维增强聚合物基复合材料老化研究进展[J].材料工程,2011(7):85-89.

[14] 王晓洁,梁国正,张炜,等.湿热老化对高性能复合材料性能的影响[J].固体火箭技术,2009,29(3):301-304.

[15] 黄业青,张康助,王晓洁.T700 碳纤维复合材料耐湿热老化研究[J].高科技纤维与应用,2006,31(3):19-21.

收稿日期:2017-01-11
修稿日期:2018-01-27