

玻纤增强乙烯基树脂复合材料弯曲蠕变行为研究

Research on Flexural Creep Behavior of Glass Fiber Reinforced Vinyl Ester Resin Composites

洛阳双瑞橡塑科技有限公司 张兴刚 张用兵

[摘要] 树脂基复合材料具有粘弹性,长期在外力作用下会发生蠕变现象,导致复合材料的刚度和强度都发生衰退,致使复合材料结构失去继续承载能力。由于复合材料蠕变研究多集中在拉伸状况下,缺少足够的弯曲蠕变数据,难以进行复合材料结构的可靠性设计。针对玻纤增强乙烯基树脂复合材料进行了弯曲蠕变测试,分析了弯曲蠕变后复合材料试样的力学性能及翘曲变形,并根据时间-挠度曲线探讨了蠕变极限。结果显示,该复合材料在 20 天左右基本可以达到蠕变平衡,且其蠕变性能优异。

关键词: 弯曲蠕变 复合材料 乙烯基树脂 力学性能 翘曲

[ABSTRACT] As the viscoelastic nature of fiber reinforced plastic, creep may occur under long term external force, then the stiffness and strength of composite structures decrease gradually, and the whole structural system will fail at last. For many years, creep study on fiber reinforced plastic is mainly concerned with tensile behavior, but less research is done on the flexural creep behavior. Because of the insufficiency of storage data, it is difficult to study the reliability of composites structures in long-term use of flexure loadings. In this paper, by means of testing flexural flexibility change at different times, the flexural creep behavior by three-point loading of glass fiber reinforced vinyl ester resins composites is studied. The results show that flexural deflection changes obviously at the beginning stage of applying flexural loading, and the change of flexural deflection is decreased with the prolong of time.

Keywords: Flexural creep Composites Vinyl ester resin Mechanical properties Warp

树脂基复合材料具有明显的粘弹性,当施加载荷时,树脂基复合材料会产生蠕变和应力松弛。蠕变是指固体材料或结构在所受应力保持不变的条件下,应变随时间延长而增加的现象。塑性变形通常在应力超过复合材料的弹性极限之后才会出现,而蠕变与塑性变形不同,只要应力的作用时间足够长,在应力小于弹性极限

时也会出现^[1-3]。

复合材料在长时间承载时,基体材料的粘弹性能将处于主导地位,粘弹性效应不仅会影响结构的刚度,也会影响结构的强度。随着使用时间的增加,复合材料的模量和强度逐渐降低,蠕变将使结构件产生变形或损坏,可能导致结构失效^[4-5]。因此在结构设计中,蠕变性能是复合材料产品的重要设计数据之一,特别是对于薄壁复合材料结构,蠕变性能是考核结构稳性及失效的基础数据。对此,国内外进行了大量的复合材料蠕变研究,但研究方向主要集中在拉伸载荷下的蠕变行为^[6-9],而对弯曲载荷下的蠕变行为研究较少^[10-11]。

本文针对利用真空辅助工艺成型的玻璃纤维增强乙烯基树脂复合材料,通过三点弯曲方式进行了弯曲蠕变行为研究,为玻璃纤维增强乙烯基树脂复合材料的蠕变效应研究提供依据。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料及设备

A 型树脂,自制;S2 缎纹布,面密度 220g/m²,中材科技特种纤维事业部;过氧化甲乙酮,常州天马集团有限公司;环烷酸钴,常州天马集团有限公司;真空辅助工艺用辅助材料,北京科拉斯化工技术有限公司。

弯曲蠕变试验机,RWS-10A 型,长春试验机研究所;万能材料试验机,Instron3385H 型,美国 Instron 公司;游标卡尺;塞尺。

1.2 试样制备

采用真空辅助工艺制作大小为 400mm × 400mm、厚度为(4.8 ± 0.1)mm 的试板。采用沈阳奥拓福公司生产的高压水切割设备将试板按照 GB/T 1449-2005 纤维增强塑料弯曲性能试验方法和 JC/T 778-2010 玻璃纤维增强塑料板材和蜂窝夹层结构弯曲蠕变试验方法要求,加工成 10mm × 96mm 弯曲测试试样。

1.3 性能测试

按照 JC/T 778-2010 要求,采用三点弯曲方式放置蠕变试样。试验过程中,开启 RWS-10A 型弯曲蠕变试验机的温控箱,保持温度在(20 ± 2)℃。根据弯曲性能测试结果,在弯曲蠕变试样上施加 30% 断裂应力,测试周期为 3000h。

蠕变试验之后的试样,静置 3 天后按照 GB/T 1449-2005 进行弯曲性能测试。

蠕变试验之后的试样,静置 3 天后将蠕变试样放置在水平平台上,中间拱起部位向上,采用塞尺对拱起高度进行翘曲变形测试。

2 结果与讨论

2.1 弯曲蠕变试样力学性能分析

表 1 为玻纤 / 乙烯基复合材料试样蠕变前后力学性能对比数据。通过数据可知,常温下的长时间弯曲蠕变对复合材料的弯曲性能略有影响。弯曲模量基本不变,而弯曲强度略有下降。

表1 弯曲蠕变试样力学性能

试样	初始	无蠕变 3000h 后	蠕变 3000h 后
弯曲强度 /MPa	457	471	425
弯曲模量 /GPa	23.6	23.9	23.4

由于测试复合材料弯曲性能时,开始的弹性阶段决定了试样的弯曲模量,而整个蠕变试验一直在 30% 断裂应力的较低应力水平下进行,因此蠕变后的试样表现出弯曲模量基本不变。弯曲应力是由树脂基体、纤维及界面共同决定的,蠕变过程中使得试样上下两面的树脂基体分别受到压缩和拉伸作用,产生了一定的内部缺陷和塑性变形,因此在本试验中表现为弯曲强度下降了 7%。

2.2 翘曲变形分析

表 2 是蠕变试样卸去弯曲载荷并静置 3 天后的中部翘曲变形数据。通过数据可以知道,试样受到长时间弯曲变形将产生不可回弹的塑性变形。这是由于基体树脂内部链段在长期载荷作用下发生相对滑移,进而产生不可逆形变。针对 10mm × 96mm 尺寸试样在经过 3000h 弯曲载荷作用后,其塑性变形达到 0.62mm。

表2 弯曲蠕变试样翘曲变形

试样	蠕变 3000h 后
挠度 /mm	0.62

2.3 蠕变行为分析

图 1 为玻纤 / 乙烯基复合材料的时间 - 弯曲挠度关系图。试样在试验开始的 24h 内,弯曲挠度增加较快,即蠕变现象比较明显。随着时间的增加,时间 - 弯曲挠度曲线的斜率逐渐减小,处于减速蠕变阶段。从图 1 还可以看出,该复合材料在 3000h 内的蠕变增量为 0.533mm,约为初始挠度的 60%,相比玻璃纤维 / 聚酯复

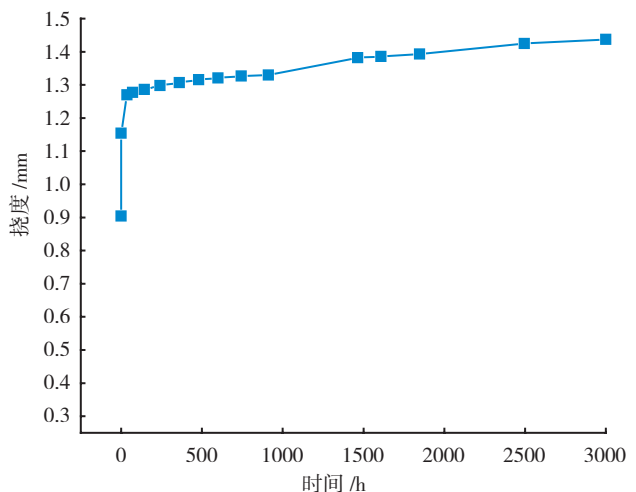


图1 玻纤/乙烯基复合材料蠕变曲线

Fig.1 Creep curves of fiberglass/vinyl composites

合材料具有较好的抗蠕变性能。

表 3 为不同时间段的 24h 间隔的挠度变化量。通过表 3 可以看出,蠕变试验进行 20 天后,试样的挠度变化已经非常小,基本保持在 0.001mm/ 天的水平。在实际工程使用中,针对该复合材料可以采用 20 天时的蠕变数据作为蠕变设计极限。

表3 不同时间的挠度变化

时间 /h	挠度变化 /mm
0~24	0.351
48~72	0.004
144~168	0.004
240~264	0.003
456~480	0
720~744	0.001
912~936	0.001
1464~1488	0

3 结论

玻璃纤维 / 乙烯基复合材料在室温下具有优良的抗弯曲蠕变性能,可适用于受弯曲载荷的工况条件;

玻璃纤维 / 乙烯基复合材料在 20 天的时间内基本可以达到蠕变平衡,3000h 内的蠕变增量为 0.533mm。

参考文献

[1] 张少实,庄茁. 复合材料与粘弹性力学. 北京: 机械工业出版社,2005.
 [2] Zhang S Y. Micro- and macroscopic characterizations of the viscoelastic of resin-based fiber composites. Composite Science and Technology, 1999(59): 317-323.

(下转第 79 页)

表2 试样体积密度

试样编号	体积密度 / (g·cm ⁻³)	烧结温度 / °C
MIT2Z3AF15	3.72365	1650
M2T2Z3AF15	3.80335	1650
M2T3Z3AF15	3.79255	1600
M2T4Z3AF15	3.80445	1550
M2T5Z3AF15	3.78500	1500

表3 HV和K_{IC}

试样编号	硬度 HV	断裂韧性 K _{IC} / (MPa·m ^{1/2})
MIT2Z3AF15	1549.7	9.0757
M2T4Z3AF15	1769.3	10.6788

表4 体积磨损率和磨痕宽度

试样编号	体积磨损率 / (10 ⁻⁵ cm ³ ·min ⁻¹)	磨痕宽度 / mm
MIT2Z3AF15	1.61	1.96
M2T4Z3AF15	1.18	1.70

损机理为粘着磨损和磨料磨损^[10]。

4 结论

晶粒细化后,即使用 2000 目氧化铝粉末制备的原位转化碳纤维增韧氧化铝陶瓷复合材料试样比 1000 目氧化铝制备的试样在致密度、硬度、断裂韧性、耐磨性方面均有所提高。用 2000 目氧化铝粉末制备的复合材料试样的较佳最高烧结温度为 1550℃,较 1000 目氧化铝粉末制备的试样烧结温度有所降低,且复合材料的晶粒较 1000 目氧化铝复合材料减小。

参考文献

[1] 朱志斌,郭志军,刘英,等.氧化铝陶瓷的发展与应用.陶瓷,2003(161):5-8.
 [2] 张敬强,荣守范,丰崇友.氧化铝陶瓷增韧的研究现状.铸造设备研究,2006(2):40-43.
 [3] 刘东亮,金永忠,邓建国. Al₂O₃ 陶瓷材料的增韧.现代技术陶瓷,2006,109(3):31-35.
 [4] 路学成,闫殿然.氧化铝陶瓷的增韧技术及机理.陶瓷,2006(12):11-15.
 [5] 钱伯章.碳纤维应用的最新进展.前沿科技,2009,27(10):58-62.
 [6] Huang S S, Zhou W C, Wei P, et al. Short-carbon fiber reinforced alumina ceramic with improved mechanical property and dielectric property in the Ku-band. Applications and Materials Science, 2013(6):1-6.
 [7] 曹晶晶.原位增韧 Al₂O₃ 陶瓷基复合材料的制备与性能研究[D].北京:中国矿业大学,2013.
 [8] 何柏林,孙佳.碳纤维增强陶瓷基复合材料界面的研究进

展.材料导报,2009,23(11):72-75.

[9] 王德成. PAN 基及沥青基碳纤维生产现状与展望.合成纤维工业,1998,21(2):45-48.
 [10] Buckley J D. Carbon-Carbon materials and composites. New Jersey: Noyes Publications, 1993:19-39.
 [11] 赵稼祥.世界碳纤维的现状与发展(一)-美国阿莫柯(AMOCO)公司.炭素技术,1995(6):36-40.
 [12] 曹晶晶,陈华辉,杜飞,等.助熔剂对原位转化碳纤维/氧化铝复合材料组织结构与性能的影响.硅酸盐通报,2013,32(3):389-397.
 [13] 李大梅,尤显卿,许育东.氧化铝基陶瓷材料断裂韧性的测量与评价.硬质合金,2004,21(4):231-236.
 [14] 高占峰.原位生成碳纤维增韧氧化铝陶瓷的制备及其性能研究[D].北京:中国矿业大学,2011.

(责编 良辰)

(上接第 72 页)

[3] 梁军,杜善义.粘弹性复合材料力学性能的细观研究.复合材料学报,2000,18(1):97-101.
 [4] Wang Y M, Weng G J. The influence of inclusion shape on the overall viscoelastic behavior of composites. Journal of Applied Mechanics, 1992, 59:510-518.
 [5] Hashin Z. Viscoelastic behavior of heterogeneous media. Journal of Applied Mechanics, 2003, 29:634-636.
 [6] 杨挺青.粘弹性力学.武汉:华中理工大学出版社,1992.
 [7] 王西昌,刘延栋.环氧树脂的蠕变行为——单环氧活性稀释剂对蠕变的影响.环氧树脂,1986,1:11-16.
 [8] Chandra V. Individual and interactive influence of temperature, stress, physical aging and moisture on creep, creep rupture and fracture of epoxy matrix and its composite[D]. Winnipeg: The University of Manitoba, 2001
 [9] Drozdov A D, Lejer A L H, Christiansen J D. Viscoelasticity, viscoplasticity, and creep failure of polypropylene/claynano composites. Compos Sci Technol, 2009, 69(15-16): 2596-2603.
 [10] 周祝林,万友生,杨云娣.关于复合材料弯曲蠕变试验方法的研究.纤维复合材料,1999,41(2):41-44
 [11] Bruckmeier S, Wellnitz J. Flexural creeping analysis of polyurethane composites produced by an innovative pultrusion process. Sustainable Automotive Technologies 2011, 2011: 13-18.

(责编 亦非)

(上接第 74 页)

(4)通过疲劳试验结果得到 ±45° 铺贴的复合材料条件疲劳极限 $\sigma_r = 91.656\text{MPa}$ 。

参考文献

[1] 益小苏.先进复合材料技术研究与发展.北京:国防工业出版社,2006:84.
 [2] 沈观林,胡更开.复合材料力学.北京:清华大学出版社,2006:132.
 [3] 黄丽.聚合物复合材料.北京:中国轻工业出版社,2001:120.

(责编 亿霖)