

玄武岩纤维复合材料蠕变性能研究

郑劲东, 杨 勇, 张兴刚

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

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的能力。本文对连续玄武岩纤维(Continuous Basalt Fiber 简称 CBF)增强树脂基复合材料在不同应力水平下的长期力学行为进行研究, 初步探讨了 CBF 复合材料的蠕变性能。

关键词: 玄武岩纤维; 复合材料; 粘弹性; 蠕变

中图分类号: TQ 327.1 **文献标识码:** A

树脂基复合材料, 其基体材料为高分子聚合物, 具有典型的粘弹特性, 在不太高的温度下, 甚至在室温下就有明显的粘弹性^[1]。随着时间的推移, 这种复合材料会产生蠕变或应力松弛。材料在高温和恒定应力作用下, 即使应力低于弹性极限, 也会发生缓慢的塑性变形, 这种现象称为蠕变^[2]。复合材料在很多受力状态下都会发生蠕变现象, 特别是, 当它承受弯曲、扭转、剪切载荷时, 以及在偏轴拉伸等基体控制其变形过程的工况条件下, 蠕变现象尤为明显。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, 蠕变将对结构件产生变形或损坏, 最终将导致断裂。因此在结构设计中, 蠕变性能是复合材料产品(如船体、容器、管道、建筑构件、飞机、火箭、桥梁、导弹发动机壳等)的重要设计数据之一, 特别是对于薄壁复合材料结构, 往往因蠕变而提前失稳, 导致结构过早的破坏。因此对复合材料进行蠕变性能研究是十分有必要的^[3-7]。图 1 为复合材料蠕变前后表面形貌图, 复合材料由于蠕变而产生裂纹。

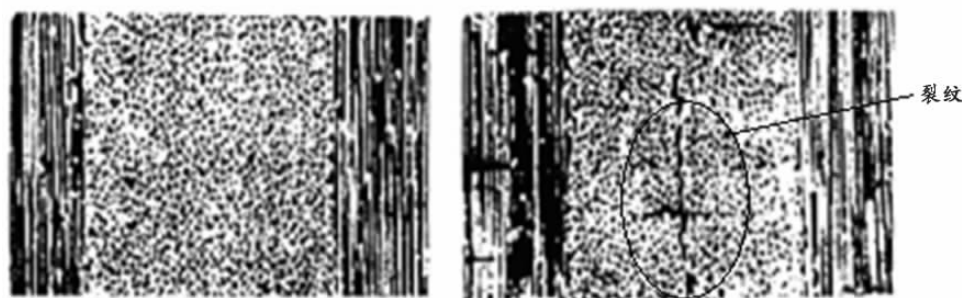


图 1 复合材料蠕变前后表面形貌图

本研究采用真空辅助成型工艺, 制作 CBF 增强乙烯基酯树脂基复合材料, 测试了 CBF 复合材料弯曲蠕变性能, 为 CBF 复合材料在蠕变效应方面的研究提供试验依据。

1 实验部分

1.1 实验原料

Swancor 901 树脂, 天津福赛科技发展有限公司出品; CBF 双向向织物, 上海俄金玄武岩公司出品; 过氧化甲乙酮, 常州天马集团有限公司出品; 萘酸钴, 常州天马集团有限公司出品; 真空辅助成型用辅助材料, 北京科拉斯化工技术有限公司出品。

1.2 试样制备

采用真空辅助成型工艺制作大小为 300 mm × 300 mm、厚度为 4.8 ± 0.2 mm 的试板。采用水切割将试板根据 GB/T1449 - 2005 标准和 GB6059 - 85 标准要求,加工成弯曲试样。

1.3 试样测试

实验采用自制的简支梁三点弯曲加载式弯曲蠕变仪进行实验,(与 GB6059 - 85 标准中相同)。因为材料的蠕变性能受温度、湿度、应力和材料本身结构的影响,同时蠕变又是长期试验,与试验条件密切相关。因此本实验在室温下进行蠕变测试,温度在 20 ± 4 °C,相对湿度在 $56 \pm 2\%$,加载应力为 20%、40% 和 60% 断裂应力,测试周期为 1,080 h。

2 结果与讨论

2.1 CBF 复合材料力学性能

玄武岩纤维与 E 玻璃纤维、S 玻璃纤维性能及复合材料性能见表 1、表 2^[8]。

表 1 CBF 和其它纤维物理性能比较

纤维类型	纤维密度 /(g · cm ⁻³)	拉伸强度 /MPa	弹性模量 /GPa	伸长率 /%
E 玻璃纤维	2.60	3450	76	4.8
S 玻璃纤维	2.54	4020	82.9	4.9
CBF	2.65	4447	104.1	3.3

表 2 不同纤维双轴向织物复合材料的力学性能¹⁾

织物/树脂	拉伸强度 /MPa	拉伸模量 /GPa	弯曲强度 /MPa	弯曲模量 /GPa
E 玻纤复合材料	413	24.1	590	19.6
S 玻纤复合材料	703	32.6	812	26.3
CBF 复合材料	501	27.0	551	22.4

注 1): E 玻纤、S 玻纤、CBF 双轴向织物面密度分别为 800 g/m²、450 g/m²、450 g/m²。

由表 1、表 2 可以看出, CBF 的拉伸强度和模量远高于 E 玻纤和 S 玻纤, 而 CBF 复合材料力学性能界于 E 玻纤复合材料和 S 玻纤复合材料之间^[9-11], 主要是由于 CBF 在我国的研究还处在相对初级阶段, 其复合材料力学性能基于当前的 CBF200 孔或 400 孔拉丝成纤工艺, CBF 成纤工艺还有较大的发展空间, 另外 CBF 的成分以及性能质量稳定性控制还不完善, 因此复合材料性能还可能会有大幅度的提升。

2.2 CBF 复合材料蠕变

在简支梁跨中施加 100 MPa(20% 应力级别)、200 MPa(40% 应力级别) 和 300 MPa(60% 应力级别) 的长期载荷, 记下两组试验相应的跨中变形, 然后每隔一定的时间读取相应跨中变形, 直至 1,080 h。蠕变试验结果见表 3。

表 3 CBF 复合材料弯曲蠕变应变¹⁾

应力/MPa	初始挠度/mm	最大挠度/mm	蠕变量/mm	蠕变量平均值/mm	标准差 S	离散系数 C _v /%
100 (20% 应力级别)	1.41	1.56	0.15	0.14	0.01	7.1
	1.05	1.19	0.14			
	1.26	1.39	0.13			
200 (40% 应力级别)	1.96	2.31	0.35	0.35	0.025	7.1
	1.74	2.06	0.32			
	1.72	2.09	0.37			
300 (60% 应力级别)	3.06	3.46	0.404	0.45	0.040	8.9
	2.74	3.21	0.47			
	2.90	3.37	0.47			

注 1): CBF 双轴向织物, 单丝直径 7 μm, 面密度 450 g/m²。

测试结果表明: CBF 复合材料在弯曲蠕变试验中, 经过 1,080 h, 弯曲载荷为 100 MPa、200 MPa、300 MPa 下, 弯曲蠕变量分别为 0.12 mm、0.35 mm、0.45 mm, 表明 CBF 复合材料具有良好的抗蠕变性能。

2.3 CBF 复合材料蠕变曲线图

蠕变量随着时间的变化曲线如图 2 所示。

试样在 20 h 以前, 随着时间的增加, 蠕变量不断增加, 曲线斜率逐渐减小, 处于减速蠕变阶段, 在 20 h 以后, 则基本处于稳态蠕变阶段; 随着

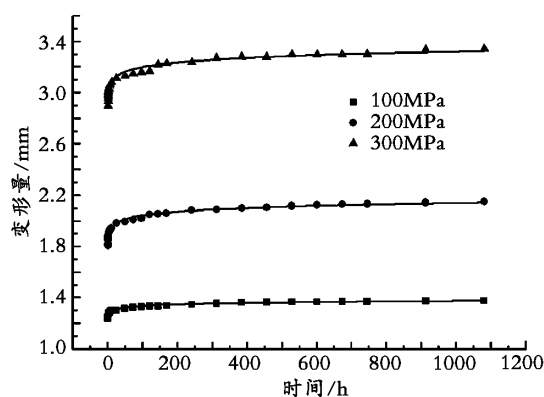


图2 蠕变量与时间的关系

应力增大,试样的蠕变也增大,最终基本保持稳定,高应力水平下的蠕变都始终大于低应力水平下的蠕变,并且随着应力的增大,蠕变的减速阶段延长,即达到稳态阶段的时间延长,即应力对蠕变有较大的影响,在同一测试环境下,应力越大,蠕变也越大。

3 结论

(1) CBF 在我国的研究还处在初级阶段,成纤拉丝工艺为 200 孔、400 孔拉丝,其复合材料力学性能介于 E 玻纤复合材料和 S 玻纤复合材料之间,还有较大的发展空间。

(2) CBF 复合材料试样的蠕变量随着应力的增大而增大。弯曲载荷为 100 MPa、200 MPa、300 MPa 下,弯曲蠕变量分别为 0.14 mm、0.35 mm、0.45 mm, CBF 复合材料抗蠕变性能优异。

(3) CBF 复合材料试样的蠕变曲线分为两个阶段:减速蠕变阶段和稳态蠕变阶段,蠕变过程是一个蠕变速率由大到小,最后趋于恒定的过程。同一类试样,它的蠕变与承受的应力大小有

关,应力越大,蠕变越大,达到稳态阶段时间越长。

参考文献:

- [1] Zhang S Y. Micro - and macroscopic characterizations of the viscoelastic fracture of resin - based fiber composites [J]. Composites science and Technology, 1999 (59): 317 - 323.
- [2] 梁军,杜善义. 粘弹性复合材料力学性能的细观研究 [J], 复合材料学报, 2000, 18(1): 97 - 101.
- [3] Shibuya Y. Evaluation of creep compliance of carbon - fiber - reinforced composites by homogenization theory [J]. JSME Int Ser A, 1997, 40: 313 - 319.
- [4] Hashin Z. Viscoelastic behavior of heterogeneous media [J]. Journal of Applied Mechanics, 2003, 29: 634 - 636.
- [5] Wang Y M, Weng G J. The influence of inclusion shape on the overall viscoelastic behavior of composites [J]. Journal of Applied Mechanics, 1992, 59: 510 - 518.
- [6] Luciano R, Barbero E J. Analytical expression for the relaxation moduli of the linear viscoelastic composites with periodic microstructure [J]. Journal of Applied Mechanics, 1995, 62: 786 - 93.
- [7] 沈观林. 复合材料力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996: 124125.
- [8] 郑劲东, 张兴刚, 杨勇. 连续玄武岩纤维及其复合材料研究 [J]. 玻璃钢/复合材料, 2009, (1): 31 - 33.
- [9] 王岚, 陈阳, 李振伟. 连续玄武岩纤维及其复合材料的研究 [J]. 玻璃钢/复合材料, 2000, (6): 22 - 24.
- [10] 黄根来, 孙志杰等. 玄武岩纤维及其复合材料基本力学性能实验研究 [J]. 玻璃钢/复合材料, 2006, (1): 24 - 27, 30.
- [11] 李英建, 金子明, 李华等. 玄武岩纤维增强乙烯基酯树脂的抗弹性能研究 [J]. 工程塑料应用, 2006, 34(9): 5 - 7.

Research on Creep Behavior of Continuous Basalt Fiber Reinforced Plastics

ZHENG Jin-dong, YANG Yong, ZHANG Xing-gang

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: As the viscoelastic nature of fiber reinforced plastics, creep may occur under long term external force, then the stiffness and strength decrease gradually, and the whole structural system will fail at last. The creep curves of continuous basalt fiber reinforced plastics are presented subjected to various stress levels, and creep behavior of continuous basalt fiber reinforced plastics is studied in this paper.

Keywords: Continuous basalt fiber; Composite; Viscoelastic; Creep

(编辑: 段玉琴)