

不同织构纤维增强 SiC 基复合材料的抗损伤性能

周长城, 张长瑞, 胡海峰, 张玉娣, 王志毅

(国防科技大学 新型陶瓷纤维及其复合材料国防科技重点实验室, 长沙 410073)

摘要: 以四种织构纤维编织体 (2.5D, 三维四向, 三维五向, 三维六向) 增强的 SiC 基复合材料为研究对象, 研究不同织构纤维编织体损伤给复合材料结构带来的影响, 并从纺织学角度分析此种现象。结果表明, 2.5D 织构纤维编织体结构整体性较好, 在表层纤维受损的情况下, 依旧保持良好的三维整体性, 所制备复合材料抗损伤性良好。而三维四向、三维五向和三维六向织构纤维编织体结构整体性较差, 在表层纤维受损的情况下, 纤维编织体的整体性遭到致命破坏, 复合材料出现低应力断裂, 抗损伤性很差。

关键词: 纤维织构; 抗损伤性; SiC; 复合材料

中图分类号: TB 323

文献标识码: A

文章编号: 1005-5053(2007)04-0069-04

三维纺织结构编织体具有完全整体而连续的、空间多轴面内及面间的纤维取向, 从而为制造具有整体性和仿形性的高性能复合材料提供了可靠的保障^[1]。近年来, 随着三维立体织物增强复合材料应用领域的不断拓展, 对复合材料抗损伤性能和可靠性的要求也越来越高。由此, 各种新的三维编织技术及编织物应运而生^[2]。作为复合材料增强体, 这些新型编织体结构性能的优劣, 最终仍要以所制备复合材料性能的优劣来判定。

碳纤维编织体增强碳化硅基 (C_f/SiC) 复合材料以优异的性能, 在航空航天等领域获得广泛应用, 因此, C_f/SiC 复合材料的研究成为各国研究热点, 并取得显著成就^[3-5]。

本工作以碳纤维编织体增强的碳化硅基复合材料为对象, 集中研究四种织构纤维编织体 (2.5D, 三维四向, 三维五向, 三维六向) 的结构性能和抗损伤性, 并从纺织学角度对实验结果进行深入分析。

1 实验

碳纤维采用吉林碳素厂生产的 JC-1K 碳纤维, 密度 1.76 g/cm³, 强度 3570 MPa, 模量 180~210 GPa, 纤维编织体由南京玻璃纤维研究院编织, 纤维织构依次为 2.5D、三维四向、三维五向和三维六向。先

驱体聚碳硅烷 (PCS) 由国防科技大学 CFC 重点实验室合成, 软化点为 217~227℃。二甲苯为溶剂, 二者配比聚碳硅烷:二甲苯 = 50:50 (w%)。

复合材料制备采用先驱体聚碳硅烷浸渍-裂解工艺, 将干燥后的碳纤维编织体置于密闭容器中, 真空浸渍聚碳硅烷, 然后在高温下裂解, 重复浸渍-裂解过程, 直到增重率低于 1%, 即得 C_f/SiC 复合材料, 裂解温度 1200℃, 升温速率 15℃/min。

采用阿基米德排水法测定复合材料密度。CSS-1101 电子万能试验机测试试样的抗损伤性能, 采用三点弯曲法表征, 测试前将复合材料表面打磨, 充分磨蚀, 使编织体表面结构破损。将复合材料试样断口喷金后, 用 JSM-5600 (JEOL) 型扫描电镜观察试样断口形貌及纤维拔出情况。

2 结果与分析

2.1 复合材料断裂模式

经过表面磨蚀的复合材料制成标准试样条后测试抗损伤性能, 用三点弯曲法加以表征。图 1 是四种织构纤维三点弯曲模式的应力-位移曲线。图中曲线最右边为 2.5D 织构纤维增强复合材料的应力-位移曲线。从中可以看出, 除 2.5D 外, 其余三条均为低应力、脆性断裂, 材料断裂功很小, 断裂模式是灾难性的, 与一般陶瓷材料无异, 较低应力下, 复合材料即发生完全贯穿性的断裂, 材料失效。而 2.5D 织构纤维增强复合材料断裂模式呈韧性断裂, 达到最大应力后, 材料的断裂是逐步进行的, 纤维很好地发挥了增强增韧作用, 破坏是非灾难性的。

收稿日期: 2006-08-02; 修订日期: 2007-03-19

作者简介: 周长城 (1980—), 男, 博士研究生, 从事陶瓷基复合材料研究, (E-mail) nudtzc@163.com。

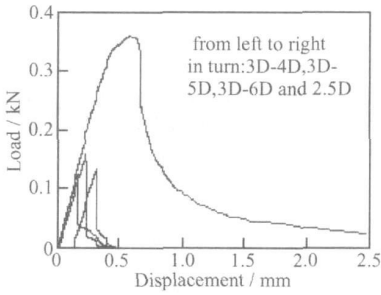


图 1 复合材料应力-位移曲线

Fig 1 Load-displacement curves of composites

2.2 复合材料断口形貌

复合材料抗损伤性一个很重要的表现是断裂行为,如果在纤维结构部分受损的情况下,复合材料断裂呈现低应力脆断,抗损伤性为差;如果复合材料断裂仍呈现韧性断裂,与纤维结构完整的复合材料一致,则抗损伤性为好。图 2 为纤维编织体结构部分受损后,不同结构纤维增强 SIC 基复合材料的断口形貌。图中 a、b、c 和 d 依次为 2.5D、三维四向、三维五向和三维六向结构复合材料的断口形貌。

从复合材料断口形貌可清楚看出,2.5D 结构的

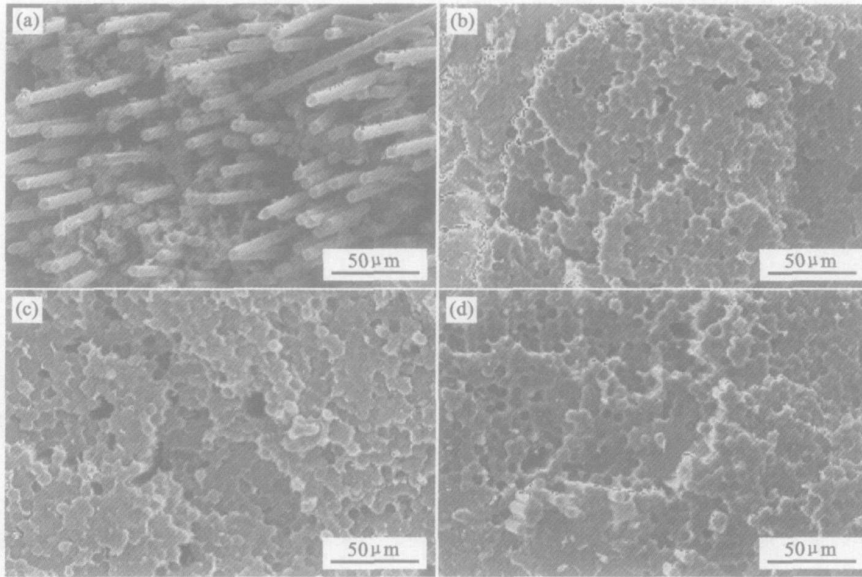


图 2 不同结构复合材料断口形貌

Fig 2 SEM micrograph of composites fracture face

复合材料断口纤维拔出较多,为典型的韧性断裂模式,与一般高韧性 C/SIC 复合材料断口形貌无异,纤维编织体的部分结构损伤并没有改变复合材料的断裂模式,材料依旧呈现高韧性。这表明,2.5D 结构的编织体整体性较强,抗损伤性较好。而其他三种结构的复合材料(三维四向、三维五向和三维六向)的断口基本平整,没有单丝纤维拔出,复合材料断裂在低应力水平下即出现灾难性破坏,裂纹贯穿整个复合材料断面,导致材料失效。综上分析,复合材料断口形貌和应力-位移曲线相对应,结果一致,2.5D 结构纤维编织体增强的复合材料抗损伤性远优于其他三种结构纤维编织体(三维四向、三维五向和三维六向)增强的复合材料。

此外,从图 2b、c 和 d 可以看出,复合材料断口有明显的分层断裂现象,这说明复合材料的层间结合较弱,层间性能较差,这主要是因为此三种结构的

编织体表层破损,导致在厚度方向上编织体整体性的缺失,使得厚度方向上的纤维相互之间独立,不能有效地结合为一个整体,导致层间结合变弱,层间性能变差。这也反映出三维四向、三维五向和三维六向三种结构纤维编织体增强的复合材料抗损伤性较差。

2.3 编织体纺织结构分析

在纺织学中,沿织物长度方向走向的纱线称为经纱,沿织物宽度方向走向的纱线称为纬纱,与经纱和纬纱垂直,并将经纱和纬纱连接起来的纱线称为缝经纱。

作为具有整体结构的复合材料增强体,纤维编织体自身结构的性能无异会对复合材料最终结构性产生比较大的影响,而结构的抗损伤性更是同复合材料抗损伤性有直接关系。图 3^[6]是 2.5D 和 3D (三维四向、三维五向、三维六向)纤维织物中纱线

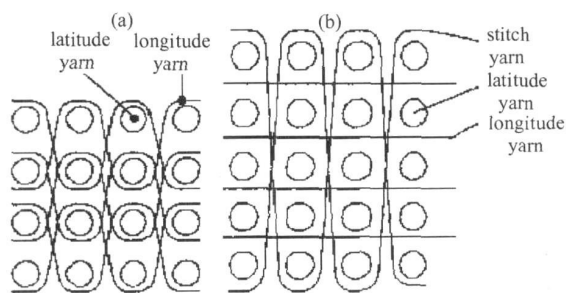


图 3 不同结构纤维纱线走向示意图

(a) 2.5D 织物交织结构; (b) 3D 织物正交结构

Fig 3 Sketch of fabric structure

(a) 2.5D fabric structure (b) 3D fabric structure

走向示意图。从图 3a 可以看出, 对于 2.5D 纤维织物, 每组经纱在两组纬纱之间穿梭, 每两组纬纱就构成一个完整的结合体, 在编织体厚度方向, 纤维以每两组纬纱为结构单元相互交错成为一个整体, 当表层纱线断裂时, 纤维编织体依旧保持结构完整, 整个编织体结构没有较大的破坏, 因此结构整体性很强, 抗损伤性较好。而对于 3D 纤维编织体(图 3b), 经纱与纬纱正交排布, 在整个厚度方向上, 经纱和纬纱通过缝经纱将其贯穿为一个整体, 经纬纱之间不存在交错结构, 当表层纱线断裂时(缝经纱断裂), 整个编织体的三维结构即遭到致命破坏, 编织体成为完全正交的立体结构, 编织体厚度方向失去了约束, 其实质相当于单向纤维的正交铺排, 因此整体性很差, 抗损伤性自然不好。

编织体的结构整体性以及抗损伤性反映在复合材料中, 则表现为材料的断裂模式差异, 以及宏观断口形貌方面的异同。因此, 对于结构整体性优异, 抗损伤性较好的 2.5D 结构纤维编织体增强的复合材料, 在表层纤维断裂情况下, 复合材料依旧呈现韧性断裂模式, 材料的断裂功很大, 复合材料抗损伤性良好。而对于结构整体性受表层结构影响较大的 3D (三维四向、三维五向、三维六向) 结构纤维编织体增强的复合材料, 表层结构的破坏直接导致编织体三维整体性的散失, 复合材料断裂表现为低应力、脆性断裂, 材料断裂功很小, 复合材料抗损伤性较差。

此外, 2.5D 纤维编织体由于经纱环向排布, 尺寸稳定性好, 纤维体积分数的可调范围小, 适用于编织各种异形编织物(如方体、回转体等)以及带有封顶的织物, 但对尺寸比较小的异型织物编织工艺难度较大^[7]。而各种 3D (三维四向、三维五向、三维六向) 编织体纤维正交排布, 编织体变形性好, 纤维

体积分数的可调范围大, 适用于编织各种异形编织物(如方体、回转体等), 但不适于编织带有封顶的织物。表 1 示出各种结构编织体纤维体积分数的范围。

表 1 各种结构纤维编织体编织参数

Table 1 Weaving parameter for different fabrics

Fiber fabric	2.5D	3D-4D	3D-5D	3D-6D
Fiber volume/%	40~45	30~50	40~60	35~60

3 结 论

编织体的结构性能直接影响复合材料的结构及抗损伤性能。2.5D 结构的纤维编织体结构紧密, 整体性较好, 所制备的复合材料结构性能优异, 抗损伤性较好, 在编织体表层结构受损的情况下, 依旧保持结构的完整性、复合材料的高性能; 三维四向、三维五向和三维六向三种结构的编织体变形性好, 结构整体性较差, 所制备复合材料结构性能较差, 抗损伤性差, 在编织体表层结构破损的情况下, 复合材料的整体性遭到致命破坏, 复合材料性能偏低。同时, 2.5D 结构的编织体尺寸稳定性好, 适于编织各种异形编织物, 如方体、回转体, 并可以编织带有封顶的织物, 这是其他三种结构形式所不能的。

参考文献:

- [1] 陆晓华. 三维纺织技术概述 [J]. 玻璃纤维, 1997, (1): 18-21
- [2] 董孚允, 王春敏, 董娟. 三维纺织复合材料的发展和应 [J]. 纤维复合材料, 2001, 37(3): 37-40
- [3] BEYER S, STROBEL F. Development and testing of C/SIC components for liquid rocket propulsion applications [R]. AIAA-99-2896-1
- [4] 张亚尼, 徐永东, 楼建军, 等. 碳/碳化硅复合材料摩擦磨损性能分析 [J]. 航空材料学报, 2005, 25(2): 49-54
- [5] MORAES KEVIN V, NTERANTE LEONARD V. Processing fracture toughness and vickers hardness of allylhydri-dopolycarbosilane-derived silicon carbide [J]. J Am Ceram Soc, 2003, 86(2): 342-346
- [6] 崔俊芳. 三维机织物织造方法的研究 [D]. 天津: 天津工业大学, 2002
- [7] 王波. 三维编织复合材料力学行为研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2002

Influence of Fabric Structure on Antidamnation of SiC Matrix Composites

ZHOU Chang-cheng ZHANG Chang-ni HU Hai-feng ZHANG Yu-di WANG Zhi-yi

(Key Laboratory of Ceramic Fibers & Composites Materials, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract The effect of damage of different structural fabric on microstructure of C_f/SiC composites were investigated and the results were analyzed thoroughly from the point of view of textile techniques. The results show that 2.5D fabric structural composites is superior to other three fabric structural composites remarkably on condition that the fabric structure were damaged slightly. And the other three fabric were destroyed entirely at a low stress.

Key words fabric structure; antidamnation; SiC; composites