

文章编号: 1903-7837(2001)01-0051-04

加载速率对 C_{sf}/LAS 复合材料 断裂特性的影响

郑开宏¹, 李 林¹, 苏志辉¹, 高积强², 王永兰², 金志浩²

(1. 广州有色金属研究院耐磨材料研究所, 广东 广州 510651;

2. 西安交通大学, 陕西 西安 710049)

摘 要: 对短切碳纤维增强 $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$ 玻璃陶瓷基复合材料(C_{sf}/LAS)断裂特性进行了研究, 结果表明: 随加载速率增加, 材料的断裂功 r_{we} 降低, 而材料的抗弯强度先增加后降低. 当加载速率为 500 MPa/s 时, 材料的抗弯强度最大. 用扫描电镜观察, 当加载速率较低时, 有明显的纤维拔出; 当加载速率较高时, 无明显的纤维拔出, 纤维呈弯曲状.

关键词: 加载速率; 复合材料; 抗弯强度; 断裂功.

中图分类号: TB332; TQ342.742 **文献标识码:** A

随着玻璃-陶瓷基复合材料在机械、电子、化工、石油、国防、航空、航天等领域应用的扩大, 失效产生的事故也日益增多. 以往对玻璃-陶瓷基复合材料力学行为的研究主要在室温准静态条件下进行, 对加载速率的影响研究较少. 本研究探讨了加载速率对 C_{sf}/LAS 复合材料断裂特性的影响.

1 试验方法

将自行熔制的 LAS 玻璃($Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$)制成粉, 其成分和力学性能见表 1. 然后与 2 mm 长的短切碳纤维混合均匀制成带, 放入石墨模具中, 在自制的热压炉中烧结. 采用氮气保护, 热压温度为 1430 °C, 压力 10 MPa, 保温 30 min, 随炉冷却. 将烧成样品切成 1.5 mm × 3 mm × 3 mm 的试样.

试验在 Instron1195 型电子拉伸实验机上用三点弯曲法测定, 加载速率分别为 38, 208, 500, 1000, 1769 MPa/s. 断裂功计算公式为^[1~3]:

$$r_{we} = \frac{\int_0^{\Delta} p d\Delta}{S_t}$$

收稿日期: 2000-12-15

作者简介: 郑开宏 (1968-), 男, 四川仪陇人, 硕士.

式中, $\int_0^\infty P d\Delta$ 为载荷 P -位移 Δ 曲线下的积分面积; S_f 为试样断裂面积。

用 S2700 型扫描电镜观察复合材料断口形貌。

表 1 LAS 基成分及力学性能

Table 1 Compositions and mechanical properties of LAS matrix

化学成分含量 $w/\%$					力学性能	
Li ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Na ₂ O	抗弯强度/MPa	断裂韧性/(MPa·m ^{1/2})
2.8	21.4	68.2	6.0	0.6	120	1.8

2 试验结果与讨论

2.1 加载速率对 C_{sf}/LAS 复合材料断裂功的影响

从表 2 可以看出, C_{sf}/LAS 复合材料的断裂功 r_{wof} 随加载速率的增加而降低, 这一结果与长碳纤维增强 LAS 基复合材料的相似^[3]。这种现象 Phillips 等人^[4,5]解释为: 加载速率增加, 纤维和基体间界面的剪切强度增加。我们的模拟试验工作已验证了这种趋势, 见表 3。根据这一试验, 我们认为: 界面剪切强度的大小决定了基体传递载荷到纤维的程度, 高的剪切强度将提高载荷传递率。在加载速率高的情况下, 基体某处先开裂, 使纤维受到很大的轴向应力。由于界面剪切强度高, 在基体与纤维尚未脱粘前, 载荷已传到纤维, 使纤维在接近裂纹面的地方断裂, 因而减弱了纤维拔出对增韧的贡献。所以, 随加载速率增加, C_{sf}/LAS 复合材料的断裂功降低。

表 2 加载速率对 C_{sf}/LAS 复合材料 r_{wof} 的影响

Table 2 Effect of loading rate on the fracture work r_{wof} of C_{sf}/LAS composite

	加载速率/(MPa·s ⁻¹)				
	38	208	500	1000	1769
断裂功 $r_{\text{wof}}/(\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$	1.5	0.9	0.84	0.82	0.79

表 3 加载速率对 C_{sf}/LAS 复合材料界面剪切强度的影响

Table 3 Effect of loading rate on the interfacial shearing strength of C_{sf}/LAS composite

	加载速率/(MPa·s ⁻¹)				
	38	208	500	1000	1769
界面剪切强度/MPa	29	31	36	38	41

2.2 加载速率对 C_{sf}/LAS 复合材料抗弯强度的影响

图 1 为加载速率对 C_{sf}/LAS 复合材料抗弯强度的影响。从图 1 可以看出, 当加载速率较低时, 抗弯强度随加载速率的提高而增大, 但在加载速率达到 500 MPa/s 以后, 抗弯强度反而下降。复合材料的抗弯强度 σ_f 由两部分构成, 即:

$$\sigma_t = \sigma_g + \Delta\sigma$$

式中: σ_g 为玻璃相的强度; $\Delta\sigma$ 为增强体对强度的贡献。

C_{60} /LAS 复合材料由 β 锂辉石、石英固溶体、玻璃相和短碳纤维构成^[6], C_{60} /LAS 复合材料的强度随加载速率的变化由玻璃相强度的变化以及增强机制(如界面脱粘, 纤维拔出等)增强作用的变化共同决定。

一般情况下, 玻璃相的抗弯强度随加载速率增加而增加, 当加载速率较低时玻璃相强度虽不高, 但随加载速率增加呈上升趋势, 此时, 基体与纤维界面剪切强度也随加载速率增加而增加, 但其载荷传递速率还不至过高, 这样纤维强化相可通过界面脱粘和纤维拔出而产生强烈的增强作用, 因而, C_{60} /LAS 复合材料强度呈上升趋势, 图 2a 为加载速率 38 MPa/s 时复合材料的断口形貌, 从图 2a 中可以看出纤维断裂不在复合材料断面处发生, 断口中有大量纤维拔出以及拔出后留下的孔洞, 表明纤维有界面粘结适当, 经历了脱粘、桥接等摩擦作用而消耗能量, 复合材料被强化。

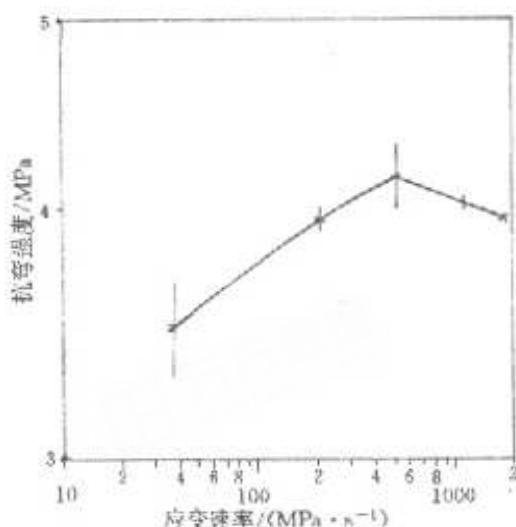


图 1 加载速率对 C_{60} /LAS 复合材料抗弯强度的影响

Fig. 1 Effect of loading rate on the bending strength of C_{60} /LAS composite

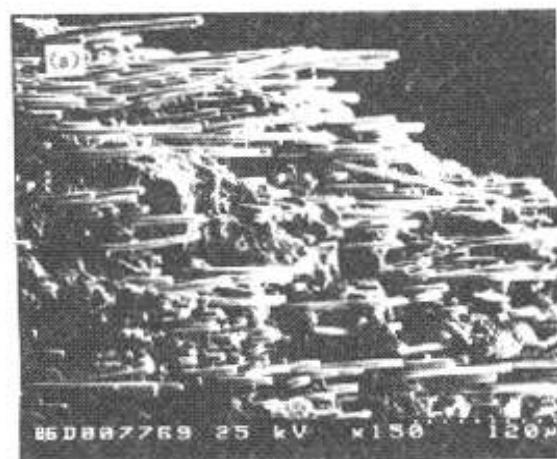


图 2 C_{60} /LAS 复合材料断口形貌

(a) 加载速率 38 MPa/s; (b) 加载速率 1769 MPa/s

Fig. 2 Fracture morphologies of C_{60} /LAS composite at different loading rates

(a) loading rate 38 MPa/s; (b) loading rate 1769 MPa/s

对较高的加载速率, 由于应力分布不均匀程度提高, 某些区域应力集中, 当应力达到基体断裂强度时, 产生许多微裂纹并迅速扩展, 该区域基体产生雪崩式碎裂(图 2b), 载荷不可能通过基体传递到纤维, 因而没有界面脱粘, 纤维起不到应有的增强作用, 加载速率尽管使玻璃相强度提高, 但复合材料的强化因素界面脱粘和纤维拔出被削弱或丧失, C_{60} /LAS 复合材料的强

度下降. 图 2b 为加载速率 1769 MPa/s 时复合材料的断口形貌, 可以看出断口纤维呈弯曲状, 与图 2a 表示的试样断口拔出的纤维状态不同.

综上所述, 当加载速率太低或太高时复合材料的抗弯强度均较低, 加载速率增加一方面玻璃相强度增加; 另一方面纤维的增强作用先提高然后降低, 因而当加载速率为 500 MPa/s 时, C_{sf} /LAS 复合材料的抗弯强度最大.

3 结 论

(1) 随加载速率的增加, C_{sf} /LAS 复合材料的断裂功降低, 在高应力速率区抗弯强度下降. 当加载速率为 500 MPa/s 时, C_{sf} /LAS 复合材料的抗弯强度最大.

(2) 加载速率较低 (38 MPa/s) 时, 用扫描电镜观察, C_{sf} /LAS 复合材料断口有比较明显的纤维拔出; 加载速率较高 (1769 MPa/s) 时, 断口纤维呈弯曲状, 无明显纤维拔出.

参考文献:

- [1] 乔冠军. 玻璃、陶瓷及其复合材料的疲劳与断裂特性[D]. 西安: 西安交通大学, 1995.
- [2] Barionr S M. J Mater Res, 1994, 9: 1412—1425.
- [3] Phillips, J Mater Sci, 1972, 7: 1175—1191.
- [4] Phillips, et al. J Mater Sci, 1972, 7: 1454—1465.
- [5] 罗伯特·M·凯德. 固体的变形与断裂[M]. 第一版, 北京: 机械工业出版社, 1988. 282.
- [6] 郑开宏. 短切碳纤维增强 LAS 玻璃-陶瓷基复合材料的制备及性能[D]. 西安: 西安交通大学, 1996.

The effect of loading rate on the fracture characteristic of C_{sf} /LAS composite

ZHENG Kai-hong¹, LI Lin¹, SU Zhi-hui¹,

GAO Ji-qiang², WANG Yong-lan², JIN Zhi-hao²

(1. Wear-Resistance Materials Department, Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In this paper, the fracture characteristic of a C_{sf} /LAS composite with $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$ glass-ceramic as matrix reinforced with short carbon fibres was studied. The results show that, with the increase of loading rate, the fracture work r_{wid} of the composite decreases, while the bending strength increases first and then decreases. The bending strength reaches its maximum when the loading rate is 500 MPa/s. The SEM observations on the material show that, at a low loading rate, there exists obvious fibre-drawing out, while almost none at a high loading rate, and the fibres appear in bending state.

Key words: loading rate; composites; bending strength; fracture work