

F—12/CF 混杂复合材料纵向拉压性能研究

曾金芳 王庭武 丘哲明

(陕西非金属材料工艺研究所 西安 710025)

乔生儒

(西北工业大学材料科学与工程系 西安 710072)

文 摘 研究了 F—12 与 HTA—P30 碳纤维混杂复合材料纵向拉压性能。结果表明,该混杂复合材料体系的纵向拉伸强度均低于混合定律的预测值,表现出明显的混杂负效应,而纵向压缩强度表现出混杂正效应,且拉伸强度的混杂效应比压缩强度的大。材料的拉压破坏模式发生改变。

关键词 F—12 有机纤维,混杂复合材料,力学性能

A Study on Tensile and Compressive Properties of F-12 Aramid Fiber and Carbon Fiber Hybrid Composites

Zeng Jinfang Wang Tingwu Qiu Zheming

(Shaan Xi Institute of Non-metall Materials Technology Xi 'an 710025)

Qiao Shengru

(Institute of Composite Northwest Polytechnoly University Xi 'an 710072)

Abstract Tensile and compressive properties of F-12 aramid fiber and carbon fiber hybrid composites are presented in this paper. Results show that the tensile strength is lower than predicted by mixture rule and present negative hybrid effect, while compressive strength present positive hybrid effect which is lower than the negative hybrid effect of tensile strength. Failure modes of hybrid composite tension and compression differ with non-hybrid composite.

Key words F-12 aramid fiber, Hybrid composite, Mechanical properties

1 前言

设计得当的混杂复合材料可以综合利用不同纤维复合材料的性能优点,达到扬长避短从而获得比单一复合材料性能更优异的材料。自 70 年代初林毅发现混杂效应以来,国内外许多研究者对此进行了大量研究,为混杂复合材料的工程应用奠定了理论基础。迄今为止,所研究的混杂复合材料主要有 Kevlar—49/CF、GF/CF 以及 Kevlar/GF 体系^[1],而对

高性能有机纤维 F—12 混杂复合材料的研究,还未见到文献报道。本文以 F—12 纤维和 HTA—P30 碳纤维为增强材料,研究了混杂比及铺层顺序(混杂界面数)对混杂复合材料的纵向拉压性能的影响。

2 实验

2.1 原材料

增强材料为 F—12 有机纤维、HTA—P30 碳纤维,基体为我所自行研制的环氧配方 AE4,原材料性

收稿日期:1999-09-27,修回日期:2000-01-03

曾金芳,1968 年出生,博士生,主要从事高性能聚合物基复合材料研究工作

能如表 1 所示。

表 1 原材料性能

Tab.1 Properties of constituents

材料	拉伸强度 /MPa	拉伸模量 /GPa	延伸率 / %	密度 /g·cm ⁻³
F-12	4 200	135	3~4	1.45
HTA-P30	3 830	230	1.87	1.78
AE4	90	3.7	3~6	1.22

2.2 实验设备

LC-800 立式缠绕机; Y/TD71-100A 液压机; Instron 4505 型万能试验机; 岛津 DSS-10T-S 电子万能试验机。

2.3 试验方法

纵向拉伸性能按 GB3354-82 测试, 试样尺寸为 230 mm × (12.5 ± 0.5) mm × (2 ± 0.3) mm。纵向压缩性能按 QJ 1403-88 进行测试, 试样尺寸为 140 mm × (12.5 ± 0.5) mm × (2 ± 0.3) mm。

2.4 试样制作

混杂复合材料层板采用干法缠绕成型, 具体铺层参数如表 2 所示。固化成型工艺参见文献[2]。层板固化脱模后在万能铣床上加工试样。由于含 F-12 有机纤维复合材料的加工面不光滑, 试样切割后依次用粗砂纸、中粗砂纸以及细砂纸打磨使加工面光滑, 然后在拉伸和压缩试样两端夹持区分别粘贴 50 mm × 12.5 mm 和 40 mm × 12.5 mm 的铝加强片。

表 2 F-12 混杂复合材料铺层参数

Tab.2 Stacking parameters of F-12 hybrid composites

代号	铺层参数*	混杂比 $V_{CF}/%$	混杂界面数
F-12	F ₁₀	0	-
Hy-1	[FCF3] _s	17.07	4
Hy-2	[CFFFC] _s	35.44	4
Hy-22	[FCFCF] _s	35.44	8
Hy-3	[C2FFC] _s	55.30	4
Hy-33	[CFCFC] _s	55.30	8
Hy-4	[C2FC2] _s	76.71	4
C	C ₁₀	100	-

*F 代表 F-12 有机纤维, C 代表 HTA-P30 碳纤维, 下同。

3 实验结果与讨论

3.1 纵向拉伸性能

— 20 —

F-12 纤维及其与 HTA-P30 碳纤维混杂复合材料纵向拉伸性能是在 Instron 4505 电子万能试验机上测试, 测试速度为 2 mm/min。用引伸计实时采集应力应变数据并储存到计算机中, 实验结果如表 3 所示。

表 3 F-12 混杂材料纵向拉伸性能

Tab.3 Longitudinal tensile properties of F-12 hybrid composites

材料	强度/MPa	模量/GPa
F-12	1 710	92.1
Hy-1	1 530	98.7
Hy-2	1 315	92.2
Hy-22	1 518	101.5
Hy-3	1 450	108.4
Hy-33	1 550	111
Hy-4	1 710	117
C	1 988	146

纵向拉伸强度与混杂比(碳纤维相对体积分数)的关系见图 1。由图 1 可见, 混杂复合材料的纵向拉伸强度均在 F-12/AE4 与 HTA-P30/AE4 两材料强度连线的下方, 并先随着碳纤维相对含量的增加而降低, 到一个临界值, 即 $V_{CF} = 35.44\%$ 时, 拉伸强度最低, 而后又随着碳纤维相对含量的增加而增加。临界体积分数的可由下面公式计算^[3]:

$$V_{CF} = 1 - \left(1 + \frac{E_{F-12}}{E_{CF}} - \frac{E_{F-12}}{E_{CF}}\right) - 1$$

将表 1 中有关纤维性能数据代入上式得: $V_{CF} = 33.76\%$, 计算结果与实验值相近。

F-12/HTA-P30 混杂复合材料的拉伸模量与混杂比的关系如图 2 所示。由图 2 可以看到, 纵向拉伸模量随碳纤维相对含量的增大而增加。

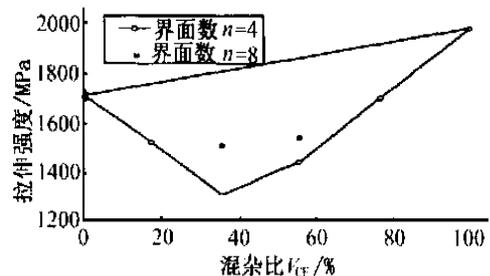


图 1 拉伸强度与混杂比关系

Fig.1 Tensile strength vs hybrid ratio

宇航材料工艺 2001 年 第 1 期

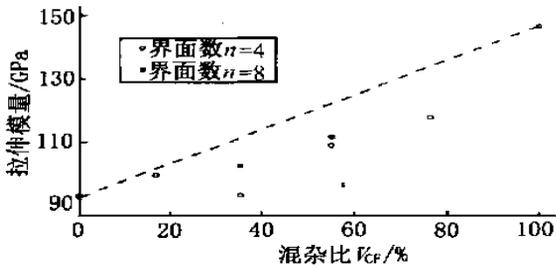


图 2 拉伸模量与混杂比关
Fig.2 Tensile modulus vs hybrid ratio

纵向拉伸试样宏观破坏形貌如图 3 所示。由图 3 可以看到, F-12/ AE4 及其混杂复合材料主要为“扫帚”形层间破坏方式, 且 F-12 纤维很少直接被拉断。而当 C_F 在外层时, 试样伴有 C_F 层断裂。HTA-P30/ AE4 试样拉伸破坏时为混合破坏方式, 即既有纤维脆性断裂, 又有层间劈裂, 说明 HTA-P30 碳纤维与 AE4 基体界面粘接性能较 F-12/ AE4 的粘接性能要好。

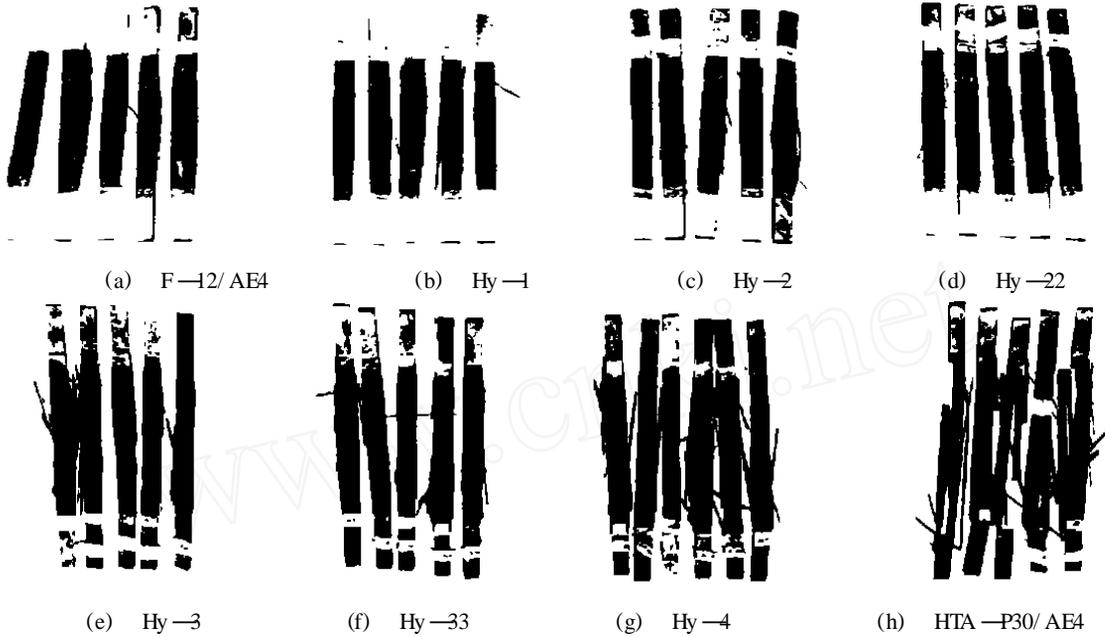


图 3 F-12 混杂复合材料拉伸破坏宏观形貌

Fig.3 Tensile fracture macrograph of F12 hybrid composites

3.2 纵向压缩性能

纵向压缩性能在岛津 DSS-10T-S 电子万能试验机上测试, 试验结果如表 4 所示。

表 4 混杂材料的纵向压缩强度

Tab.4 Longitudinal compressive strength of hybrid composites

材料	混杂比 $V_{CF}/\%$	压缩强度/MPa
F-12	-	288
Hy-1	17.07	372
Hy-2	35.44	430
Hy-22	35.44	425
Hy-3	55.30	457
Hy-33	55.30	506
Hy-4	76.71	524
C	100	576

压缩强度与混杂比的关系见图 4, 由图 4 可以看出, 混杂复合材料的纵向压缩强度均在 F-12/ AE4 与 HTA-P30/ AE4 两强度连线的上方, 且随着碳纤维相对含量的增加而增大。

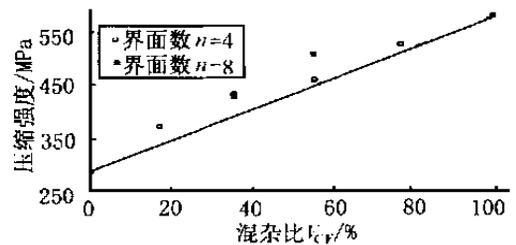


图 4 压缩强度与混杂比关系

Fig.4 Longitudinal compressive strength vs hybrid ratio

纵向压缩试样宏观破坏形貌如图 5 所示, F-12/AE4 及其混杂复合材料试样压缩时主要呈“屈

曲”失稳破坏, 试样破坏后, 纤维未断; 而 HTA-P30/AE4 则不同, 压缩时为脆性破坏, 纤维断裂。

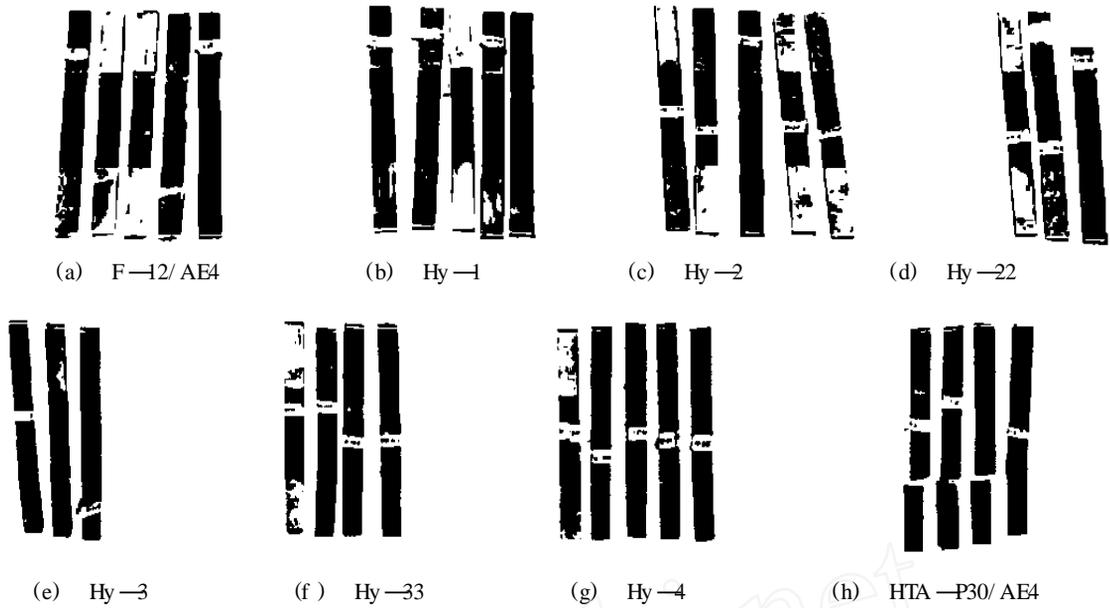


图 5 F-12 混杂复合材料压缩破坏宏观形貌
Fig. 5 Compressive fracture macrograph of F-12 hybrid composites

3.3 铺层方式对性能影响

对同一混杂比, 通过改变铺层顺序制得混杂界面数不同的混杂材料, 如 Hy-2 与 Hy-22, Hy-3 与 Hy-33, 并测定了其纵向拉压性能。由表 3 可知, 混杂比相同时, 随着混杂界面数增大(即 C_F 层分散), 纵向拉伸强度增大, 模量基本相同。而压缩强度似乎与混杂界面数的变化关系不大(如表 4 所示), 说明当 C_F 层的分散程度达到一定值时, 铺层顺序对 F-12/HTA-P30 混杂复合材料体系的压缩强度影响不大。

3.4 混杂效应及混杂效应系数

混杂效应是混杂复合材料的一个重要特征, 它

反映了混杂复合材料性能实测值与混合定律估算值间的偏离程度。但并不是所有的混杂材料性能都会表现出混杂效应, 它不仅与组分如纤维及基体的性能有关, 而且还与混杂比、铺层方式、界面粘接情况等因素有关。混杂效应大小一般用混杂效应系数 (Re) 来衡量, 目前, 混杂效应系数定义还不统一, 本文采用如下公式计算:

$$Re = \frac{X_{测} - X_{理}}{X_{理}} \times 100\%$$

式中: $X_{测}$ 为性能实测值, $X_{理}$ 为由混合定律计算出的值。由上式定义计算出的纵向拉压强度混杂效应系数如表 5 所示。

表 5 纵向拉压性能混杂效应

Tab. 5 Hybrid effect of longitudinal tensile and compressive properties

代号	混杂比 $V_{CF}/\%$	拉伸强度			压缩强度		
		实测值/MPa	理论值/MPa	$Re/\%$	实测值/MPa	理论值/MPa	$Re/\%$
Hy-1	17.07	1 530	1 757	- 12.9	372	337	10.4
Hy-2	35.44	1 315	1 809	- 27.3	430	390	10.3
Hy-22	35.44	1 518	1 809	- 16.1	425	390	9.0
Hy-3	55.30	1 450	1 863	- 22.2	457	447	2.2
Hy-33	55.30	1 550	1 863	- 16.8	506	447	13.2
Hy-4	76.71	1 710	1 923	- 11.1	524	508	3.1

由表 5 可知, F—12/HTA—P30 混杂复合材料的纵向拉伸强度表现出较强的负的混杂效应;而其纵向压缩强度表现出正的混杂效应,但其混杂效应的大小(指绝对值)比拉伸强度表现出的混杂效应要小。

4 结论

(1) F—12 与 HTA—P30 碳纤维混杂复合材料的纵向拉伸强度表现出明显的混杂负效应,而纵向压缩强度表现出混杂正效应,且拉伸强度的混杂效应较压缩强度的大。

(2) 对 F—12 与 HTA—P30 碳纤维混杂复合材料体系,当混杂比相同时,纵向拉伸强度随着 CF 层

分散程度的增大而增大,而纵向压缩强度变化无规律。

(3) F—12 与 HTA—P30 碳纤维混杂后,拉压破坏模式发生改变。

参考文献

1 Kretsis G. A review of the tensile, compressive, flexural and shear properties of hybrid fibre-reinforced plastics. *Composites*, 1987; 18(1), :13~23

2 曾金芳. F12/环氧树脂材料力学性能研究. *宇航材料工艺*, 1999; 29(2): 24~25

3 宋焕成, 张佐光. 混杂复合材料. 第一版. 北京航空航天大学出版社, 1989

(上接第 3 页)

料,会极大减弱紫外线的损伤作用。利用纳米粒子的电学性质,可用于静电屏蔽材料。

(3) 超细碳粉的引入不但可以提高树脂的成碳率,减少碳化热收缩应力,而且由于超细碳粉具有很高表面活性和其它特性,它对材料的剪切强度、拉伸强度、弯曲强度和模量均有一定的影响。

(4) 改善碳材料的高温抗氧化性能,可通过在基体中弥散非氧化物陶瓷颗粒,氧化成膜实现碳材料的自愈合抗氧化。

(5) 把纳米粉末引入陶瓷基体中制成颗粒增强复合材料可极大地提高材料的强度、韧性和高温性能,使之成为很有前途的高温结构材料。

(6) 将纳米金属粉添加到火箭固体燃料推进剂中,可以显著改进推进剂燃烧性能。美国、俄罗斯等在火箭固体推进剂中添加超细铝粉或镍粉,燃烧效

率得到较大提高,燃速得到显著增大,这方面的技术已进入实用阶段。

参考文献

1 Hirano T, Kusunose T, Niihara K. High temperature creep behavior of nano-sized SiC particulate dispersed Si₃N₄ nanocomposites. In: Proc. 4th Jap. Inter. SAMPE Symposium, 1995: 380

2 Mench M M, Yeh C L, K K Kuo. Propellant burning rate enhancement and thermal behavior of ultra-fine aluminum powders (Alex). In: Karlsruhe, Energetic Materials Production, Processing and Characterization, 29th International Annual Conference of ICT, 1998: 30—1~30—15

3 Ivanov G V, Tepper F. Activated aluminum as a stored energy source for propellants. In: Kuo K K et al. Challenges in Propellants and Combustion 100 Years after Nobel, Begell House, 1997: 636~645