

竹/塑复合材料力学性能评定及其应用

洗杏娟

洗定国

中国科学院力学研究所, 北京(邮政编码100080)

香港理工学院

关键词 竹增强复合材料; 力学性能

复合材料从利用天然材料到利用人工材料, 从原始经验到高技术的发展, 标志了材料发展史上, 从第一代利用天然材料的复合材料到第四代先进复合材料的进程。先进复合材料性能优越, 但高性能的碳纤维、芳纶纤维等造价高, 影响了广泛应用。利用天然纤维采用新的复合工艺, 制成性能良好而又价廉的复合材料, 将是广泛应用于生产、生活的材料新品种。

竹子本身是天然复合材料, 由纤维(厚壁细胞)和基体(薄壁细胞)等组成, 细胞沿轴向排列整齐。竹纤维是植物纤维中强度和刚度高, 弹性好, 性能也较稳定的一种。但因竹材易被虫蛀蚀, 易开裂, 形状为空心竿, 所以其应用受到了限制。以竹子增强塑料压制成的复合材料层板, 既保持了天然竹合理的生物材料结构, 又解决了干裂蛀蚀的问题, 可加工成符合要求的构件。我国和亚洲许多地区竹资源丰富, 其成熟期短, 只需3—4年, 而木材则需要10—20年。竹/塑复合材料是一种充分利用天然资源, 能代替木材等的好材料。

对竹材及其力学性能已有一些研究^[1,2], 用竹材增强水泥^[3]因界面结合不良没能推广应用。K. M. Ginsbury和F. G. Shin等^[4,5]研究了竹的性能及竹/塑复合材料的制作。近年, 笔者研制了多种竹增强树脂复合材料, 并进行了力学性能评定及微观分析研究^[6,7]。本文概述了其结果并作了比较; 阐述了竹/塑复合材料的增强机理, 提出了应用范围。

1 材料与试件

采用毛竹和蒿竹两种在我国生长较多, 强度较高的竹子作增强件。选用环氧、酚醛、苯酚、脲醛等树脂作基体材料。通过热压成型, 制作了竹纤维增强塑料(BFRP)和短切竹增强塑料(BCRP)两大类竹材复合材料。蒿竹长纤维增强环氧试件有[0]铺层和[0/90]铺层两种(分3层、5层、7层压成)。短切竹纤维增强塑料按不同竹类不同树脂及工艺条件分为8种(实际包括不同树脂含量不同成型压力的试件为18种)。以脲醛树脂为基体的BCRP分干态、湿态及纤维经处理干态三种。为了研究树脂含量及压力对性能的影响, 还分别取15%, 20%, 25%, 30%及50%, 80%的基体重量含量在10吨、15吨和20吨压力下成型(压模面积为 $100 \times 200\text{mm}^2$)。不同树脂的固化温度和时间不同, 具体工艺过程见[7]。

2 竹/塑复合材料力学性能

对竹/塑复合材料进行了拉伸、压缩、弯曲、短梁剪切等性能测定及分析，并采用声发射技术，在扫描电镜 (SEM) 中观测。宏观测试数据列于表 1，竹/塑复合材料与其它材料力学性能的比较见表 2。从实验结果可见：

表 1 竹/塑复合材料力学性能测试结果

试件	材料类型	拉伸性能			压缩性能		弯曲性能		短梁剪切性能	
		σ_T (MPa)	E_T (GPa)	ν	σ_c (MPa)	E_c (GPa)	σ_B (MPa)	E_B (GPa)	τ_{13} (MPa)	G_{13} (MPa)
竹	中部	92—128	9—14.9		55—79		108—226	11.3—16.3		
环氧 BFRP	648	49—78	2.2—3.5				35—60	4.36		
蒿竹/环氧	[0] _s	203	61	0.38	93	27.9	235	20.2	13.2	752
蒿竹/环氧 BCRP	[0/90] _s	98	17	0.20	54		135	14.1		181
1 短切毛竹/脲醛(干态)	17—20%	25—29	5.2—8.1			1.5—1.8	43—44	5.2—6.7		
2 短切蒿竹/脲醛(干态)	15,20,25%	18—23	5.0—5.8	0.20	37—54	1.2—2.2	19—52	4.5—7.7	3.6	
3 短切蒿竹/脲醛(干态) (表面处理)	15,20,25%	15—24	7.0—8.7			1.3—2.0	21—50	4.7—7.4		
4 短切蒿竹/脲醛(湿态)	15,20,25%	7—16	5.2—7.7			1.0—2.3	15—30	3.6—8.1		
5 短切蒿竹/苯酚	20,25,30%	17—26	6.1—7.5	0.22	39—58	3.2—3.5	36—70	5.9—9.2	5.16	
6 短切蒿竹/聚苯乙烯	50%	8.4	5.71	0.26			23.9	1.64		
6 短切蒿竹/聚苯乙烯	80%	7.4	2.2	0.31			16.5	2.2		

*6类仅为树脂含量增大的影响， W_i 为树脂重量含量。

① 竹材增强环氧树脂层板具有相当好的力学性能，而比重只有 1.18。0° 铺层的比抗拉强度为中碳钢的 3—4 倍，与普通玻璃钢相近，是优质木的 2 倍。

竹/环氧层板的强度值一般随着竹层数的增加而下降，这是由于弱的层间影响增加而致。层间剪切性能低，这符合一般叠层复合材料的特点，破坏型式主要是纵向开裂。

[0/90] 铺层竹/塑层板的强度相当于 [0] 铺层的一半，主要由纵向竹纤维承载。破坏以 90° 层横断型式为主，呈树脂开裂，界面破坏及纤维断裂的复式破坏。

② 第 6 类短切竹增强树脂复合材料 (BCRP) 中，毛竹比蒿竹作增强件性能为好。同是蒿竹增强的不同树脂中，以苯酚树脂作基体的性能较高。同是以脲醛树脂作基体的，干态处理比湿态好。聚苯乙烯性能较低。

同样组分的碎竹增强塑料板，力学性能随模压压力增加而提高，基体重量百分比 W_i 在 30% 以内，性能随着 W_i 的增加而提高 (图 1)，当 $W_i > 50\%$ 时，力学性能将随着 W_i 的增大而下降 (表 1)。由于树脂基体比竹材贵，一般取重量百分比为 20—30% 即可。碎竹塑板的力学性能比竹纤维增强塑料板低得多，但价格便宜，易制造，而且其比强度较木碎板高 3—4 倍，有较大的应用价值。

可根据不同应用要求，选取不同类型的竹/塑复合材料。

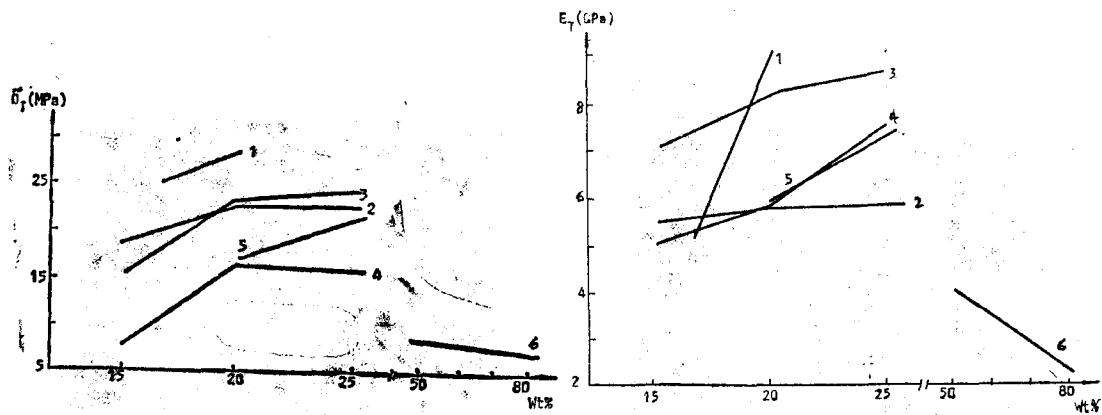


图1 树脂类型、含量、成型压力对竹/塑复合材料力学性能的影响

3 微观结构及增强机理

一般人工纤维增强的复合材料,纤维的抗拉强度是基体强度的数十倍,而由它们组成复合材料的抗拉强度约为纤维强度的1/2—1/3。如碳纤维增强环氧树脂复合材料,碳纤维的抗拉强度约为环氧的50倍,而0°铺层碳/环氧复合材料的抗拉强度为碳纤维的1/2。竹子增强件的抗拉强度约为环氧的2倍,而竹纤维/环氧0°铺层复合材料的拉伸、压缩、弯曲等性能都较竹材高(表2),平均提高40%,增强效果相当好。碎竹增强树脂的性能比原组分碎竹都高。从竹材及竹/塑复合材料的微观结构以及天然纤维和人工纤维的复合机制分析可探讨竹/塑复合材料的增强机理。

表2 竹/塑复合材料与其它材料性能比较

材 料	比 重 (kg/cm ³)	拉伸强度 σ_T (kg/cm ²)	比抗拉强度 $\times 10^2$ (cm)	弹性模量 $\times 10^4$ (kg/cm ²)	比弹性模量 $\times 10^4$ (cm)	弯曲强度 σ_B (kg/cm ²)	比抗弯强度 $\times 10^2$ (cm)	压缩强度 σ_C (kg/cm ²)	比抗压强度 $\times 10^2$ (cm)
竹子	0.8	900—1300	11.3—16.3	9.17—15.2	11.46—19	1100—2300	13.8—28.8	560—800	0.7—1.0
环氧	1.25	500—800	4—6.4	2.2—3.6	1.8—2.9	1000—1500	8—12	1225—2038	9.8—16.3
竹/环氧[0]	1.18	1800—3600	15.3—3.0	45.9—62.2	38.9—52.7	2120—4000	18—33.9	1314	11
竹/脲醛[0]	1.06				9.4—24	1450—3550	11—25		
玻璃纤维/环氧 [0]	2	3000—4600	15—23	21.5	10.25	2380	11.9	1400	7
碳纤维/环氧[0]	1.54	8600—14000	55.8—90.9	83—160	54—104	8000—11800	52—76.6	6000—8000	39—52
中碳钢	7.8	3800—4700	5—6	200—210	25.6—26.9	4500			
硬铝	2.7	4100	15	72—73	26.7—27			3800	14
松木	0.65	500	7.7					250—350	3.8—5.4
胶合板	0.8	120—550	1.5—6.9	0.61—4.7	0.76—5.9	200—400	2.5—5.0		
短切竹/间苯二 酚	1.04	173—265	1.7—2.5	0.62—0.76	0.6—0.73	367—714	3.5—6.9	398—591	3.8—5.7
短切竹/脲醛	1.14	183—234	1.6—2.1	0.51—0.59	0.45—0.52	194—530	1.7—4.7		
木碎板	3.5	160	0.46			152	0.43	110	0.31

从竹材的微观 SEM 照片可以看到纵向竹纤维和木质素(图2a),横断面(图2b)看到维管束(纤维、导管、筛管和细胞腔)及薄壁细胞。薄壁细胞分布在维管束的周围(图3),它储存养分,强度不高,类似于基体材料。维管束中的纤维是主要承力件(图4)。导管、筛管是输送水分和养料的通道(图4)。将环氧树脂压入后,树脂填充了部分孔洞(图5—7),

起了增强的作用。同时通过压紧，纤维排列更紧密，相当于纤维密度相应增大，提高了结合强度，这些是人工纤维复合材料所不具有的。



图2 竹材 SEM 形貌

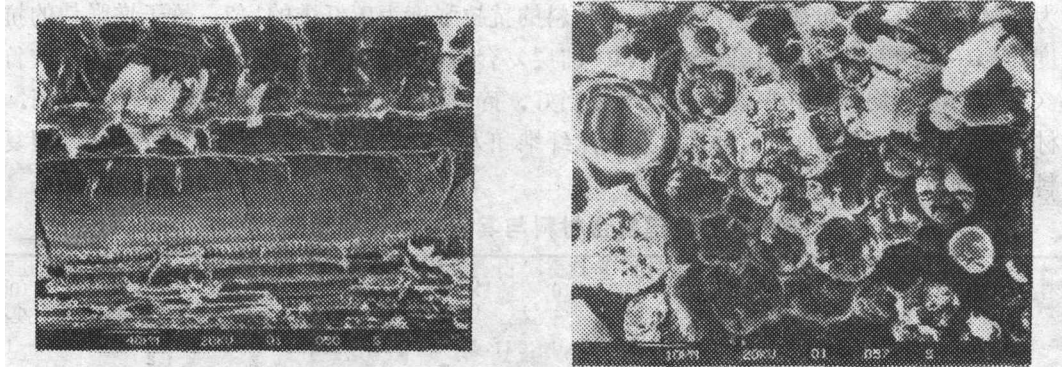


图3 竹薄壁细胞纵向

图4 竹纤维横截面

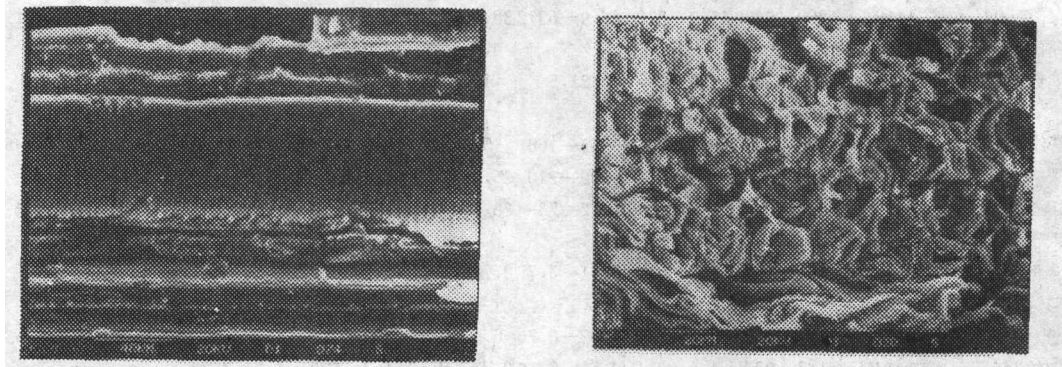


图5 树脂浸入竹薄壁细胞

图6 树脂浸入竹纤维及界面

人工纤维增强复合材料的粘结强度主要取决于纤维与树脂的粘合作用。而竹材与树脂的复合,除了树脂的粘合作用外,植物纤维之间与周围囊素组织经热压塑化后,还取得结合强度的提高。竹纤维是 $C_6H_{10}O_5$ 的链状分子,含有羟基,形成氢链结合力。囊素组织受热压后塑性变形,界面被压缩(图8),分子扩散,增强了复合作用,这类增强作用是天然纤维增强复合材料所共有的特点,



图7 树脂浸入竹材横截面

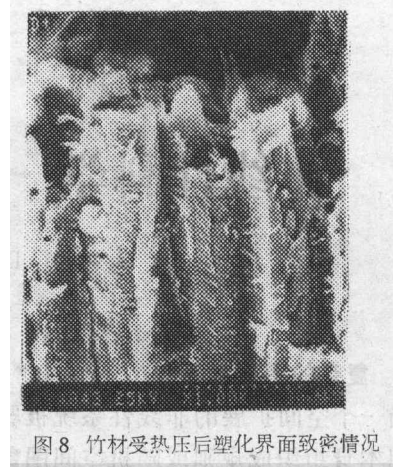


图8 竹材受热压后塑化界面致密情况

从以上研究结果看，竹/塑复合材料是利用天然资源，采用现代复合工艺制造的力学性能良好，重量轻，耐腐蚀而又价廉的复合材料新品种。它能满足承力结构材料的要求，性能比木材和胶合板好；短切竹增强复合材料价格更低廉，可广泛应用。竹/塑复合材料可当作建筑及其工具材料，可应用于汽车、船艇及其它运输装置的某些部件，集装箱，家具等等，在生产和生活的各个方面有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Lakked S C, Patel J M, *Fibre Sci. Technol.*, **14** (1981) : 319
- 2 Jindal U C. *Indian For.*, **4** (1984) : 381
- 3 Pakotipropha B, Pama R P, Lee S I, *Int. J. Hous. Sci. Appl.*, **3** (1979) : 167
- 4 Ginsbury K M, Shin F G. *High Modulus Polymers and Composites* (1984) : 433
- 5 关锡鸿, 洗定国, 叶颖薇. *复合材料学报*, **4** (1987) : 79
- 6 洗杏娟, 洗定国, 郑维平, 李端义. *复合材料学报*, **3** (1988) : 1
- 7 Shin F G, Xian X J (洗杏娟), Yipp M W. *Proc. of ICCM-VII* (1989)

EVALUATION OF MECHANICAL BEHAVIOUR AND APPLICATION OF BAMBOO REINFORCED PLASTIC COMPOSITES

Xian Xing-juan

F. G. Shin

Institute of Mechanics, Academia Sinica Hong Kong Polytechnic

Abstract This paper summarizes the work on a number of bamboo reinforced plastic composite materials (BRP_s) developed by the authors. Their (BRP_s) mechanical characteristics as well as microstructure were investigated. The experimental evaluation shows that BRP_s possess favorable properties. The effects of bamboo species, scale of reinforcement, constituent of matrix and processing condition on mechanical properties of BRP_s are obvious. The reinforcing mechanism of bamboo/plastic is discussed. Bamboo/plastic is a new breed of materials which utilizes abundant natural bamboo resource with reasonably good properties and low cost, and exploits a wide spectrum of applications.

Keywords *bamboo reinforced plastic composite, mechanical behaviour*