

碳纤维复合材料导热系数研究

北京航空材料研究所 沈蓉影

本文提出碳纤维复合材料 X、Y、Z 三方向的试样制备方法以及试验方法, 并对不同树脂、铺层、纤维体积含量等对碳纤维复合材料的导热系数的影响程度作出初步的结论。

一、前言

碳纤维复合材料是由两种导热性能相异的碳纤维和树脂复合而成, 其导热系数呈明显的方向性。复合材料导热系数数值除与材料的性质有关外, 还因铺层方式、纤维体积含量和测定方向不同而异。这就构成碳纤维复合材料导热系数的特殊性和复杂性。为了探讨上述因素与碳纤维复合材料导热系数的关系, 我们选用了几种树脂和典型铺层的碳纤维复合材料, 探索 X、Y、Z 方向导热系数试样的制作和导热系数测定方法, 以及不同树脂、不同纤维体积含量、不同铺层和不同测定方向与导热系数之间的关系。

二、试验与结果

1. 试验设备

由于碳纤维复合材料的各向异性, 其导热系数相差很大, 一般在 0.6~6.0W/mK 之间, 所以其测试设备须具有测定 0.5~0.7W/mK 导热系数的能力, 此外因碳纤维复合材料价格昂贵, 试样应采用小尺寸, 试验结果应具有一定的精确度。选用美国 C-Matic TCHM-LT 型热流计导热仪。其试样为圆形直径 $\phi 50\text{mm}$, 厚度为 0.1~20mm; 导热系数范围: 0.2~10W/mK; 准确度和重现性为 2%~4% ($C < 400\text{W/m}^2\text{K}$)

2. 试样制备

因为碳纤维复合材料不同方向的导热系数相差很大, 所以试样厚度随 X、Y、Z 方向不同而定, 试样的制备方法也不同。

Z 方向为碳纤维复合材料标准试样 (2mm) 厚度方向, 制样时先从样品上切取尺寸为 60mm×60mm 的试块, 再机械加工成 $\phi 50\text{mm}$ 的圆片即可。制备 X 方向或 Y 方向导热系数试样时, 先从样品上切取尺寸为 60mm×20mm 的长条若干片, 用 400 号砂布除去试块表面的树脂, 然后每块试片上涂上薄薄一层该复合材料的树脂, 逐片放在制样加压装置上, 加高到 60mm 以上, 加上一定压力, 再将制样加压装置置于烘箱内, 按材料固化条件进行固化, 固化后的试料经机械加工成 $\phi 50\text{mm}$ 、厚约 20mm 的圆形试片, 表面磨平。

3. 导热系数测定

在试样表面涂上一定量的热传导介质, 装入导热仪内, 加 5kgf/cm² 压力, 测定各设定温度下的导热系数。

4. 试验结果

(1) 不同方向的碳纤维复合材料导热系数

为测定碳纤维复合材料不同方向的导热系数, 选用 [0]₁₆、[±45]₈ 两种铺层材料进行试验, 其结果如表 1。

表 1 不同方向的导热系数

材料与铺层		试验方向	试样平均温度下的导热系数 (W/mK)			
			60℃	76℃	95℃	115℃
T300/4211 碳纤维复合 材料	[0] ₁₆	X	5.223	5.447	5.669	6.072
		Y	0.725	0.759	0.775	0.821
		Z	0.725	0.759	0.775	0.821
	[±45] ₈	X	3.027	3.163	3.283	3.409
		Y	3.027	3.163	3.283	3.409
		Z	0.756	0.783	0.798	0.862

(2) 不同铺层的碳纤维复合材料的导热系数

不同铺层对 Z 方向的导热系数有无影响说法不一, 现进行两种材料三种铺层的试验, 其结果见表 2。

表 2 不同铺层的碳纤维复合材料的导热系数

导热系数 λ (W/mK) Z 方向 材料与铺层	设定温度 (℃)			
	80	100	120	
T300/5222 碳纤 维复合材料	[0] ₁₆	0.446	0.464	0.484
	[±45] ₈	0.440	0.464	0.487
	设计铺层	0.537	0.560	0.591
T300/4211 碳纤 维复合材料	[0] ₁₆	0.469	0.495	0.517
	[±45] ₈	0.477	0.496	0.523

所有结果经 t 值检验, 可认为均无显著差异。

(3) 不同纤维体积含量碳纤维复合材料导热系数

为测定纤维体积含量对碳纤维复合材料导热系数的影响, 选用 T300/5222 [0]₁₆ 材料的三种纤维体积含量的试样进行测定, 试验结果见表 3。

表3 不同纤维体积含量碳纤维复合材料导热系数

材料	纤维体积含量 V _f (%)	设定温度 (°C)	导热系数 λ (W/mK)	平均导热系数 (W/mK)
T300/ 5222 碳纤维 复合材料	65	100	0.473	0.473
			0.457	
			0.490	
	62	100	0.451	0.434
			0.412	
			0.438	
	68	100	0.476	0.497
			0.489	
			0.525	

经 t 分析检验:

纤维体积含量 65% 和 62% 的导热系数值相比 t = 2.136

纤维体积含量 65% 和 68% 的导热系数值相比 t = 1.121

纤维体积含量 62% 和 68% 的导热系数值相比 t = 2.764

t 分析结果说明纤维体积含量相差 4% 以内导热系数无显著影响。

(4) 不同树脂碳纤维复合材料的导热系数

为测定不同树脂对碳纤维复合材料导热系数的影响, 采用三种树脂三种铺层, 结果见表 4。

试验结果明显看到不同树脂对碳纤维复合材料的导热系数有很大影响。

表4 不同树脂的碳纤维复合材料导热系数

导热系数 (W/mK) (Z)	试样平均温度 (°C)							
	-15	-5	17	41	61	76	95	115
T300/3231 [0] ₁₆	0.358	0.584	0.594	0.655	0.660	0.681	0.690	0.710
T300/5222 [0] ₁₆	0.691	0.761	—	0.813	0.814	0.859	0.884	0.953
T300/4211 [0] ₁₆	0.582	0.644	0.650	0.744	0.725	0.759	0.775	0.821
T300/5222 [±45] ₈	—	—	—	—	0.828	0.868	0.893	0.988
T300/4211 [±45] ₈	—	—	—	—	0.756	0.783	0.793	0.862
T300/5222 设计铺层	—	—	—	—	0.731	0.760	0.784	0.821

三、结论

1. 不同方向的碳纤维复合材料导热系数的测试技术, 只是初次探索, 也未见这方面的有关资料报道。如要测定 X-Y 任一角度的导热系数, 只要在取样时按所需的角度截切, 其余各工序相同。

2. 试验结果有美国标样进行标定, 所以准确度较高, 所测定国产碳纤维复合材料 X、Y、Z 三个方向的数值, 可供有关部门参考。

3. 试验温度与导热系数间的相关性很好。关于其它方向的导热系数, 当然还可以通过复合原理进行计算, 寻找适合的数学模型, 经过实验验证, 便可应用。

4. 对不同树脂、不同铺层、不同纤维体积分含量的碳纤维复合材料与导热系数之间关系的测定, 虽然测定材料类别不多, 但是都可明确地得出初步结论, 即不同树脂对导热系数有显著影响, 不同铺层没有影响, 不同纤维体积分含量 ±4% 以内无显著影响。

(上接第 31 页)

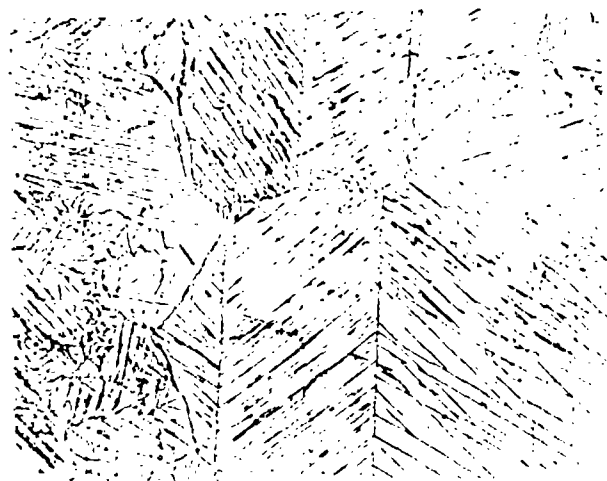


图3 大量晶内针状相 ×400
腐蚀剂: 5% 铬酸或铬王水 (水 90ml; 铬酸 10g; 盐酸 200ml) 试剂