

碳纤维面板铝蜂窝夹层结构低温热导率测试研究

张建可, 冀勇夫

(兰州物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 对碳纤维面板铝蜂窝夹层结构 T 、 L 、 W 3 个方向的低温热导率进行了测试研究。得到了碳纤维面板铝蜂窝夹层结构热导率的性能与温度变化曲线。在实验的基础上, 讨论分析了碳纤维面板铝蜂窝夹层结构热导率的传热机理和影响因素。通过实验和比对, 找出了具有普遍性的规律, 为推算蜂窝夹层结构低温热导率数据提供了参考依据。

关键词: 蜂窝夹层结构; 低温热导率

中图分类号: O514

文献标识码: A

文章编号: 1006-7086(2003) 01-0035-04

THE THERMAL CONDUCTIVITY OF HONEYCOMB SANDWICH PANELS WITH CARBON FIBRE PLATES AT LOW TEMPERATURE

ZHANG Jian-ke, JI Yong-fu

(Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou, 730000, China)

Abstract: The measuring of thermal conductivity of honeycomb sandwich panels with carbon fibre plates has been carried out. The results of T 、 L 、 W directions have been measured and compared. The effect factors and mechanism of thermal conductivity of honeycomb sandwich panels with carbon fibre plates have been analyzed and discussed. The main change law of the thermal conductivity of honeycomb sandwich panels at low temperature has been found.

Key words: honeycomb sandwich panels with carbon fibre plates; thermal conductivity at low temperature

1 引言

随着航天技术的发展, 要求航天材料具有足够的强度和刚度, 以及最轻的质量。碳纤维面板铝蜂窝夹层结构则正是一种常用结构。其形状和结构示意图 1 和图 2。

试样两面是 M40 碳纤维和环氧树脂复合而成。蜂窝芯采用铝合金, 铝箔厚度为 0.02 mm, 孔对角线尺寸分别为 11 mm 和 8 mm, 铝箔蜂窝边长为 6 mm。

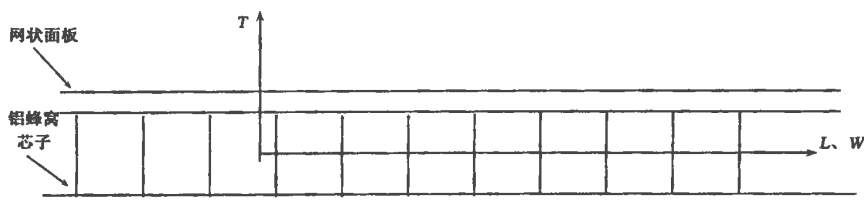


图 1 试样结构示意图

收稿日期: 2002-09-24 .

作者简介: 张建可 (1954—), 男, 河北省深县人, 高级工程师, 从事低温物理学研究。

2 测试方法及测试结果

根据材料的结构形式,热导率的测试按试样 T 、 L 、 W 3 个方向进行。见试样方向示意图 2, L 、 W 2 个方向的试样,采用浮动热沉固体材料低温热导率测定装置^[1],测试的不确定度小于 10%,试样尺寸为 30 mm×25 mm×100 mm。 T 方向试样,采用双平板低温热导率测定装置^[2],试样为直径 110 mm,厚度为 27.5 mm 的圆形板。在 L 、 W 2 个方向的测试中,为了保证试样与热沉接触良好,采用胶接的方法将试样与热沉接头用低温胶黏牢,然后将热沉接头与热沉旋紧。在试样上分 4~5 点用低温胶黏上 4~5 只测温热电偶和监视热保护屏的差分热电偶,其他测试程序见参考文献[1]。 T 方向试样安装时,除在试样表面涂导热脂外,要有适当的压力,使样品与外热沉接触良好,其他要求也请详见参考文献[2]。实验结果列表 1。测试时,为模拟空间环境,试样的环境真空压力为 1×10^{-3} Pa。

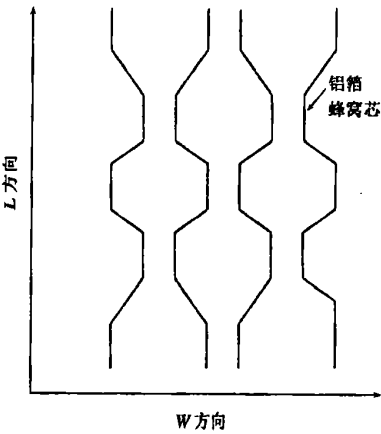


图 2 试样方向示意图

3 结果与讨论

3.1 W 、 L 方向的热导率比较

测试结果表明,试样 W 方向的热导率大于 L 方向的热导率。两者相差约 20%~30%。根据试样结构分析,决定热导率大小的因素主要是二个。一个是面板的热导率,在这里

表 1 热导率测试结果

序号	W 方向		L 方向		T 方向	
	温度/℃	热导率/ $W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$	温度/℃	热导率/ $W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$	温度/℃	热导率/ $W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$
1	36	5.48	46.5	4.19	48	1.65
2	-2	4.71	8.9	3.94	10	1.47
3	-32	4.01	-21.0	3.37	-59	0.36
4	-70	3.00	-63.0	2.21	-73	0.25

两方向面板相同,因此该因素可不考虑;另一个因素是铝箔蜂窝结构。试样在 L 、 W 方向结构有所不同,在 L 方向铝箔蜂窝结构的最宽度为 11 mm,而在 W 方向铝箔蜂窝结构的最宽度为 8 mm。在同样的试样宽度内, W 方向铝箔条数要多于 L 方向铝箔条数。显然,由于在试样中与碳纤维面板和胶黏剂相比,导热性能很好的铝箔热导率起了主要的影响作用,因此, W 方向的热导率要大于 L 方向的热导率。

3.2 L 方向热导率估算

根据文献[3,4]的热阻计算方法,对于复合夹芯结构 L 方向的热导率 λ ,可采用以下近似计算公式

$$\lambda = \left[2\lambda \frac{A_1}{\Delta X_1} + N\lambda \frac{A_2}{l} + 2\lambda \frac{A_3}{\Delta X_2} \right] \frac{\Delta X}{A} \tag{1}$$

式中 λ 为蜂窝夹芯结构材料(包括铝箔、面板、胶等)的热导率, $W/m\cdot K$; λ 、 λ 、 λ 分别为面板、铝箔、胶的热导率, $W/m\cdot K$; A_1 、 A_2 、 A_3 分别为面板、铝箔、胶的截面积, m^2 ; ΔX_1 、 ΔX_2 分别为面板、铝箔、胶的传热的距离, m ; N 为试样宽度内蜂窝芯子条数; l 为铝箔在传热距离的长度, m ; A 为蜂窝夹芯结构的截面积, m^2 ; ΔX 为蜂窝夹芯结构传热的距离,与 ΔX_1 、 ΔX_2 相等, m 。

在 L 方向,试样尺寸为 100.0 mm×20.0 mm×27.5 mm。面板的厚度为 0.4 mm,宽度与试样同为 20.0 mm;在试样 20.0 mm 宽度的范围内,蜂窝格子有 1.8 格,蜂窝芯子 $N=3.6$ 条,每条厚度为 0.02 mm,宽为 27.5 mm;由于胶黏剂面积与试样面积相同,面板胶层厚度很薄,为 0.5 mm,宽 20.0 mm。胶的热导率近似选取为 20~10 $W/m\cdot K$ 。根据文献资料[5],铝箔在室温下的热导率近似为 140 $W/m\cdot K$,在低温下的热导率近似为 100 $W/m\cdot K$ 。其长度可用试样传热距离近似代入,即 $l=0.015$ m。碳纤维复合材料在室温下的热导率近似为 70 $W/m\cdot K$,在低温下的热导率近似为 30 $W/m\cdot K$ 。传热距离设为 0.015 m。公式中的数据选取

如表 2 和表 3 所列。

表 2 室温下计算用近似数据

项目	λ	λ	λ	A_1	A_2	A_3	$\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X$	l	N	A
数据	70	140	20	8.0×10^{-6}	5.5×10^{-7}	1.0×10^{-6}	0.015	0.015	3.6	5.5×10^{-4}

表 3 低温下计算用近似数据

项目	λ	λ	λ	A_1	A_2	A_3	$\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X$	l	N	A
数据	30	100	10	8.0×10^{-6}	5.5×10^{-7}	1.0×10^{-6}	0.015	0.015	3.6	5.5×10^{-4}

3.3 W 方向热导率估算

W 方向蜂窝结构的热导率同样可采用式(1) 计算

$$\lambda = \left[2\lambda \frac{A_1}{\Delta Y_1} + N\lambda \frac{A_2}{l} + 2\lambda \frac{A_3}{\Delta Y_2} \right] \frac{\Delta Y}{A}$$
 (2)

式(2) 中, 试样尺寸相同, 为 100.0 mm×20.0 mm×27.5 mm。除了在试样 20 mm 宽度的范围内, 蜂窝格子有 2.5 个, 铝箔条 $N=5$, 铝箔长度近似为传热距离 $l=0.015$ m, 其他参数相同。

3.4 T 方向的热导率估算

W、L 方向热导率的计算表明, 铝箔传热起了主要作用, 其他传热影响较小。在 T 方向, 由于铝箔传热也是起了主要作用, 其他传热影响更小, 完全可以忽略, 因此近似计算时主要考虑铝箔的传热贡献。试样中, 每个蜂窝可近似为直径 9.5 mm 的圆形, 每个蜂窝面积为 7.088×10^{-5} m², 在试样面积区域 3.4×10^{-3} m² 内, 约有 48 个蜂窝, 即 $N=48$; 每个蜂窝铝箔传热截面积 $A_1=0.00002 \times 0.0095 \times 3.1416=5.97 \times 10^{-7}$ m², 铝箔传热距离 ΔX_1 与试样传热距离即试样厚度 $\Delta X=0.0275$ m 相同, 试样面积 $A=3.4 \times 10^{-3}$ m²。同式(1) 相似, 热导率计算公式可简化如下

$$\lambda = \left[N\lambda \frac{A_1}{\Delta X_1} \right] \frac{\Delta X}{A}$$
 (3)

式中 λ 为铝箔的热导率, W/m·K; A_1 为铝箔的截面积, m²; ΔX_1 为铝箔的传热的距离, m; N 为试样传热面积内蜂窝个数; A 为蜂窝夹芯结构 Z 方向传热的截面积, m²; ΔX 为蜂窝夹芯结构 Z 方向传热的距离, m。

3 个方向室温和低温的计算结果和拟合的测试数据列表 4。

表 4 计算结果和拟合的测试数据

温区	常温(20 ℃)		低温(-80 ℃)	
	测试拟合值	计算值	测试拟合值	计算值
W 方向热导率/W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	5.115	3.464	2.734	1.736
L 方向热导率/W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	3.990	3.268	1.740	1.596
T 方向热导率/W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	1.520	1.180	0.195	0.843

表 4 中计算结果与测试拟合数据有些较接近, 有些相差较大, 其中, L 方向数据较吻合, T 方向数据在低温下差别较大。这主要因为模型的一些近似和数据的选取与实际相差较大等, 另外测试数据也存在一定的测试误差, 但其结果基本在同一数据级内。其中铝箔、胶和碳纤维面板热导率数据选取影响最大, 仔细合理选取这些数据或通过实测得到这些数据, 可提高计算的准确性。采用该近似计算方法, 可为蜂窝结构热性能设计时提供参考数据, 避免盲目性, 提高设计水平。

4 结 论

(1) 由于夹芯结构中无论是传热面积还是热导率, 其传热量最大的是铝箔, 因此, 可近似采用铝箔的热

导率来代替材料的有效热导率。计算结果与测试结果基本在一个数量级。测试数据表明,试样热导率的变化规律无异常,与曾测试过的铝合金变化规律相似,只不过数据值较小。这充分说明了碳纤维面板蜂窝夹层结构的热导率变化规律与铝合金变化规律相似。

(2) 碳纤维面板蜂窝夹层结构 L 方向的热导率与 W 方向的热导率比较,两者差别大小主要由铝箔蜂窝结构决定,本结构中 L 方向的热导率小于 W 方向的热导率。

(3) 要设计不同热导率的碳纤维面板蜂窝夹层结构,采用本文介绍的计算方法,根据不同温度下的铝箔、胶和碳纤维面板热导率数据,可以近似估算碳纤维面板蜂窝夹层结构的低温热导率。

参考文献:

- [1] 张建可. 浮动热沉式固体材料低温热导仪[J]. 低温工程, 1987, (1): 1.
- [2] 朱贤, 冀勇夫, 张建可, 等. 绝热材料低温热导率测定方法研究[J]. 低温物理, 1981, (4): 334~339.
- [3] 张建可. 铝蜂窝复合材料 X 、 Y 方向低温有效热导率的测试研究[J]. 宇航学报, 1991, (1): 89~95.
- [4] 张建可, 冀勇夫. 网状碳纤维面板蜂窝夹层结构低温热导率测试研究[J]. 低温工程, 2001, (4): 9~12.
- [5] 柯日伏尼克夫, 诺维茨基. 材料低温热物理性能手册[M]. 北京: 宇航出版社, 1987. 108~109.

新书消息

新版《真空设计手册》正在编写

由兰州物理研究所编写的《真空设计手册》是我国真空工程界的一本大型工具书。从 1979 年第一版(主编金建中)到 1991 年的第二版(主编达道安、副主编李旺奎)已有 20 多年的历史,尤其是第二版内容丰富,有 187 万多字,1 500 多幅图表,包括了真空术语、真空技术基础理论、计算方法、真空工程设计检测、工艺、材料以及仪器装置等内容。全书结构合理、层次分明,能够方便查到从低真空到超高真空领域里真空技术与真空工程各个方面的资料。因而受到国内真空界广大科技人员的欢迎,前后共再版 4 次,仍满足不了读者需要。同时,国内不少专家、学者及科技人员渴望兰州物理所能够在该书的基础上再修编,把近 10 年来真空科技发展的新成果、新设备、新工艺等反映在书中,以满足新世纪我国加入 WTO 后真空科学发展的需要。在这种情况下,兰州物理研究所的领导高度重视,经与北京国防工业出版社联系,决定从今年起重新编写《真空设计手册》(新编版)。

新版《真空设计手册》编委会由中国航天科技集团公司中国空间技术研究院科技委副主任、博士生导师达道安研究员任主编,现兰州物理研究所所长邱家稳研究员任副主编。全书技术编辑崔遂先、谈治信。全书作者以章为序:第 1 章肖祥正;第 2、8、9、10 章刘玉魁;第 3、4 章谈治信;第 5、6、7 章崔遂先;第 11 章达道安;第 12 章张涤新、李正海;第 13 章胡炳森、邱家稳;第 14 章范垂祯;第 15 章薛大同、张景钦;第 16 章许启晋、曹慎诚。全书预计 2002 年完成编辑稿;2003 年出版。

对新编的《真空设计手册》,编委会真诚地希望广大从事真空科学技术的专家、教师、工程人员多提宝贵意见和建议;广大真空科研单位、大专院校、企业单位多提供新的技术资料。对此,《真空设计手册》编委会深表衷心地感谢!

本书编辑部联系地址:兰州市 94 号信箱(730000),渭源路 105 号新版《真空设计手册》编辑部

电 话:0931-8267121-5248 或 5323(办)

电 传:0931-8265931

联系人:谈治信 阎鸿祥