

A 型蜂窝夹层结构平板基本力学性能

刘梦媛 孟超 温磊 白树成

(北京航空材料研究院,北京 100095)

文 摘 研究了以 NH-1-2.75-72 Nomex 蜂窝为芯层、SW-110A/5258 高温固化环氧树脂玻璃布预浸料为蒙皮材料的 A 型蜂窝夹层结构平板基本力学性能。A 型蜂窝夹层结构平板采用热压罐一次固化成型。测试了 A 型蜂窝夹层结构平板的弯曲、侧压、拉剪及滚筒剥离性能。结果表明:A 型蜂窝夹层结构平板基本力学性能满足耐高温机载天线罩和卫星整流罩的设计要求。

关键词 A 型蜂窝夹层结构,力学性能,NH-1-2.75-72 Nomex 蜂窝,预浸料

Basic Mechanical Properties of A Honeycomb Sandwich Constructions Plan

Liu Mengyuan Meng Chao Wen Lei Bai Shucheng

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

Abstract The basic mechanical properties of A honeycomb sandwich constructions plan were studied in this paper, NH-1-2.75-72 Nomex used as sandwich material, SW-110A/5258 glass fabric reinforced epoxy prepreg cured at 180°C were selected for skin and adhesive film. By applying one step autoclave cure cycle, A honeycomb sandwich constructions were produced. Flexural properties, edgewise compressive properties, flatwise compression properties, plan tension shear properties were tested. The basic mechanical properties of A honeycomb sandwich constructions plan meet the design requirement of high temperature airborne radome, satellite radome.

Key words A honeycomb sandwich constructions, Mechanical properties, NH-2.75-72 Nomex honeycomb, Prepreg

0 引言

夹层结构比刚度、比强度高,已广泛应用于航天、航空、航海等领域。夹层结构的芯层材料一般是蜂窝或泡沫, Nomex 蜂窝作为高性能雷达天线罩的芯层材料已得到广泛应用^[1-3]。PMI 泡沫是强度和刚度最好的泡沫材料,适用于环氧或 BMI 树脂共固化的夹层结构件,国内,“神舟”飞船返回舱舱门的芯层是 ROHACELL 110WF 泡沫材料;国外,应用于空中客车飞机气密舱的球面框、运载火箭整流罩、医疗床板等构件上。

夹层结构的蒙皮材料一般由树脂基体和纤维增强材料组成,树脂基体材料的固化温度决定着蒙皮材料的耐温性能, 5258 改性环氧树脂, 固化温度 180°C, 长期使用温度 130°C, 短期耐 150°C, 在某机载天线罩上已得到应用^[2]。

本文研究了 SW-110A/5258 高温固化环氧树脂玻璃布预浸料层合板的力学性能, SW-110A/5258 预浸料作为蒙皮材料及蒙皮材料与芯材的胶接材料, NH-1-2.75-72 Nomex 蜂窝为芯材的 A 型蜂窝夹层结构平板的弯曲、侧压、拉剪、滚筒剥离性能, 便于为

大型雷达天线罩及卫星整流罩选材提供设计依据。

1 实验

1.1 材料

蒙皮材料为 SW-110A/5258 预浸料, 单层压厚 0.11 mm, 树脂含量分别为 42%、48%, 自制。芯层材料有两种: 一种为 Nomex 蜂窝, 牌号为 NH-1-2.75-72, 密度 72 kg/m³, 高度 20 mm, 自制; 另一种为 PMI 泡沫材料, 牌号为 ROHACELL 110WF, 密度 110 kg/m³, 高度 20 mm, 德国进口。

1.2 夹层结构平板制备

夹层结构平板上下蒙皮材料为 SW-110A/5258 预浸料, 铺层为 45°/0°/-45°/45°/0°/-45°, 取预浸料纤维经向为夹层结构 0° 方向, 铺贴时, 采用树脂含量为 48% 预浸料作为芯材胶接层, 完成上下蒙皮裁剪、铺贴后, 抽真空预压实。在平板模具上, 进行上下蒙皮预浸料与芯材固化工艺组合, 完成后, 放入热压罐进行一次共固化。固化工艺为室温下抽真空至 -0.090 MPa 以下, 以不大于 4°C/min 的升温速率加热升温, 同时加压, 加压 (0.3±0.02) MPa, 控制温度升至 (110±5)°C, 恒温 30 min, 继续加热升温, 控温不

收稿日期: 2012-12-10

作者简介: 刘梦媛, 1964 年出生, 高级工程师, 主要从事功能复合材料的研究。E-mail: liumengyuan163@sina.com

大于 185℃,当模具温度升至 180℃,保温保压 120 min,自然冷却至室温,即可得到夹层结构的平板。

层合板一 SW-110A/5258 预浸料 6 层,压厚 0.66 mm,铺层为 45°/0°/-45°/45°/0°/-45°;层合板二 SW-110A/5258 预浸料 8 层,压厚 0.88 mm,铺层为 45°/0°/0°/-45°/45°/0°/0°/-45°,层合板与夹层结构平板同炉固化,完成固化后进行力学性能测试。

1.3 性能测试

夹层结构平板试样力学性能测试设备为 INSTRON MODE 1185 材料试验机,性能测试方法见表 1。

表 1 性能测试方法

Tab.1 Test method

测试项目	测试标准	试样尺寸
平压	GB/T 1453—2005	60mm×60mm
侧压	GB/T 1454—2005	160mm×60mm
拉伸剪切	GB/T 1455—2005	240mm×60mm
三点弯曲	GB/T 1456—2005	600mm×60mm
滚筒剥离	ASTM D1781—93	350mm×75mm

2 结果与讨论

2.1 蒙皮材料力学性能

SW-110A/5258 层合板力学性能测试结果见表 2。

表 2 SW-110A/5258 层合板力学性能

Tab.2 Performance of SW-110A/5258 laminate

层合板	拉伸强度/MPa		拉伸模量/GPa		弯曲强度/MPa		弯曲模量/GPa		压缩强度/MPa		纵横剪切	纵横剪切
	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	强度/MPa	模量/GPa
一	344	348	14.7	14.7	523	517	12.4	12.8	77.7	84.1	159	5.03
二	386	411	16.2	16.8	612	560	13.3	12.4	148	139	189	5.86

SW-110A/5258 高温固化环氧树脂玻璃布预浸料由 SW110c-90a 高强玻璃布和 5258 改性环氧树脂组成,SW-110A/5258 预浸料中 SW110c-Na 高强玻璃布经向、纬向纱数相同,经向、纬向断裂强力同为 500 N/(25 mm×200 mm),每种层合板 0°、90°各项性能相当,压厚 0.88 mm 的层合板各项性能高于压厚 0.66 mm 的层合板性能,测试结果充分体现了复合材料可设计性的特点,SW-110A/5258 预浸料是夹层结构的蒙皮材料,也是蒙皮材料与芯材的胶接材料,蒙皮材料的设计强度、模量确定后,当性能满足设计要求的情况下,上下蒙皮的层数少,夹层结构整体质量轻,减重明显。

2.2 A 型蜂窝夹层结构平面压缩强度

表 3 是 6 批次 A 型蜂窝夹层结构平板稳定型平面压缩强度的测试结果。

表 3 平面压缩性能¹⁾

Tab.3 Flatwise compression properties

批次	平面压缩强度/MPa	批次	平面压缩强度/MPa
1	3.68	4	3.93
2	3.60	5	4.15
3	4.01	6	4.14

注:1) 指标值为 3.30 MPa。

平板由上下蒙皮厚度 0.66 mm SW-110A/5258 及厚度 20 mm 的 NH-1-2.75-72 Nomex 蜂窝构成,测试结果高于 Q/6S1383-2002 高密度 Nomex 蜂窝北京航空材料研究院标准指标值 3.30 MPa 的要求。Nomex 蜂窝制造方便,孔格规整,加工性好,具有良好的耐热性、耐腐蚀性、抗冲击性能、电性能,使用温度

-55 ~ 160℃,NH-1-2.75-72Nomex 蜂窝是夹层结构的理想芯层材料。

2.3 A 型蜂窝结构拉剪、弯曲性能

表 4 是 A 型蜂窝结构平板的平面拉剪性能,A 型蜂窝结构平板 L 向性能好于 W 向,这是因为 Nomex 蜂窝结构各向异性,蜂窝孔格展开方向为横向即 W 向,垂直于蜂窝孔格展开方向为纵向即 L 向,蜂窝横向孔格之间有胶接面即蜂窝节点。

夹层结构芯层主要承受的是拉伸或压缩剪应力,试样破坏发生在蜂窝芯层上,测试结果高于 Q/6S1383-2002 高密度 Nomex 蜂窝北京航空材料研究院标准指标值要求。

表 4 平面拉伸剪切性能

Tab.4 Plan tension shear properties

批次	剪切强度/MPa		弹性模量/MPa	
	L 向	W 向	L 向	W 向
1	1.99	1.34	81.4	41.3
2	2.03	1.29	82.5	43.2
3	1.81	1.17	64.4	38.7
4	1.90	1.24	70.3	43.4
5	1.88	1.19	86.4	39.3
6	2.00	1.36	81.6	41.3
指标值	1.60	1.00	58.0	27.0

表 5 是 A 型蜂窝夹层结构平板三点弯曲、侧压性能测试结果,L 向性能好于 W 向,各批次测试结果性能稳定,表明各批次蜂窝性能稳定,设计者根据测试结果选择 NH-1-2.75-72Nomex 蜂窝作为夹层结构芯层材料。

表5 平板弯曲、侧压性能

Tab.5 Flexural properties, edgewise compressive properties

批次	弯曲强度/MPa		弹性模量/GPa		侧压强度/MPa		侧压模量/GPa	
	L向	W向	L向	W向	L向	W向	L向	W向
1	334	287	20.0	19.1	18.0	16.0	1.10	1.08
2	351	299	22.5	21.4	17.9	16.3	1.23	1.22
3	321	285	19.3	19.2	17.7	16.8	1.08	1.11
4	345	267	20.2	20.0	17.3	16.3	1.11	1.14
5	223	227	19.4	19.0	16.9	15.8	1.05	1.02
6	301	279	22.2	20.8	16.9	14.7	1.11	1.08

2.4 A型蜂窝夹层结构滚筒剥离强度

夹层结构的蒙皮材料与芯材的固化胶接质量,以夹层结构随炉件滚筒剥离强度来表征,某高性能机载天线罩滚筒剥离强度设计指标值为不小于 $30(N\cdot mm)/mm$ ^[3]。表6是A型蜂窝夹层结构平板滚筒剥离强度测试结果,各批次L向、W向滚筒剥离强度相当,在 $38.2\sim 69.7(N\cdot mm)/mm$,各批次性能稳定,证明A型蜂窝夹层结构平板固化工艺过程满足要求、蒙皮材料与芯材固化胶接质量良好。蒙皮材料与芯材的粘结层(胶膜)是树脂含量为48% SW-110A/5258预浸料,起到了蒙皮材料与蜂窝的胶接作用,又承担蒙皮材料的结构强度,与SW-110A/5258预浸料及Nomex蜂窝固化工艺匹配,满足A型蜂窝夹层结构平板要求。

表6 滚筒剥离强度

Tab.6 Climbing drum peel strength $(N\cdot mm)/mm$

批次	L向		W向	
	下板	上板	下板	上板
1	58.0	54.3	55.0	52.7
2	63.6	55.7	57.9	65.7
3	65.7	74.4	67.9	69.7
4	58.6	45.5	59.0	53.7
5	45.4	59.2	38.2	50.5
6	41.4	68.6	51.6	63.4

表7 A型蜂窝夹层结构、泡沫结构平板力学性能

Tab.7 NH-1-2.75-72 plan properties, ROHACELL 110WF plan properties

材料	剪切		侧压		弯曲		滚筒剥离强度 $(N\cdot mm)\cdot mm^{-1}$ 平压强度		
	强度/MPa	模量/MPa	强度/MPa	模量/GPa	强度/MPa	模量/GPa	上板	下板	/MPa
蜂窝,L向	1.84	104	16.4	1.20	304	19.5	65.8	72.4	4.38
蜂窝,W向	1.04	55.1	15.0	1.17	285	18.5	69.3	77.6	4.38
ROHACELL 110WF	1.32	96.8	22.6	1.49	330	19.7	23.5	25.3	3.65

3 结论

SW-110A/5258预浸料、NH-1-2.75-72Nomex蜂窝适应于高性能夹层结构件的蒙皮材料、芯层材料;A型蜂窝夹层结构平板适合采用热压罐成型工艺方法一次共固化,具有良好的基本力学性能,各项性能满足机载天线罩及卫星整流罩的要求。

参考文献

[1] 刘梦媛,蔡良元,白树成. 某工程用单脉冲相控阵天线平板天线罩工程化研究[C]//北京航空材料研究院,中国

2.5 蜂窝夹层、泡沫夹层结构平板力学性能

如表7所示,A型蜂窝夹层结构平板和A型泡沫夹层结构平板的蒙皮材料相同、芯层材料高度相同,在热压罐同一炉固化,各项力学性能测试结果,泡沫夹层结构平板剪切强度 1.32 MPa 介于蜂窝夹层结构平板L向剪切强度 1.84 MPa 、W向剪切强度 1.04 MPa 之间,蜂窝夹层结构弯曲性能与泡沫夹层结构相当,泡沫夹层结构平板侧压性能好于蜂窝夹层结构平板侧压性能;但泡沫夹层结构平板滚筒剥离强度仅是蜂窝夹层结构平板滚筒剥离强度的 $1/3$ 。因为PMI泡沫材料是100%的闭孔结构,孔径在 $0.4\sim 0.6\text{ mm}$,内部泡沫孔隙不吸收树脂,密度均匀,材料性能各向同性,因此各项性能与Nomex蜂窝有差别。

对于结构尺寸大、形面复杂的夹层结构件,NH-1-2.75-72Nomex蜂窝成型技术已成熟,蜂窝选用预浸蜂窝,在蜂窝固化模具上,室温下能拉伸成一定形状,蜂窝可以裁剪、缝合,经高温固制定型后变成理想的形状。NH-1-2.75-72Nomex蜂窝与ROHACELL 110WFPMI泡沫材料比较,材料及加工成本较低,SW-110A/5258预浸料蒙皮与NH-1-2.75-72Nomex蜂窝芯层的夹层结构件更有技术和成本优势。

航空学会2007年学术年会论文摘要汇编,深圳:中国航空学会,2007:118

[2] 蔡鲜龄. 雷达罩应用5258树脂基复合材料的试验研究[J]. 飞机工程, 2005(2):67-69

[3] 刘梦媛,白树成,崔溢,等. 超宽频带、高透波率机头天线罩研制[C]//北京航空材料研究院. 探索 创新 交流(第三集)——第三届中国航空学会青年科技论坛文集,北京:航空工业出版社,2008:575-581

(编辑 李洪泉)