

# 蜂窝夹层结构的滚筒剥离强度

刘梦媛 蔡良元 陈梦怡

(北京航空材料研究院, 北京 100095)



**摘要:** 研究了以 Nomex 蜂窝、铝蜂窝为芯层材料, SW-280A/3218 中温固化环氧树脂玻璃布预浸料为蒙皮材料, FM 73M 和 SY-24C-300 胶膜为蒙皮和蜂窝的胶接材料的蜂窝夹层结构的滚筒剥离强度。蜂窝夹层结构平板采用热压罐成型工艺方法和烘箱成型工艺方法一次共固化工艺, 测试了蜂窝夹层结构平板的滚筒剥离强度。蜂窝夹层结构材料已应用于大型平板天线罩的制造。

**关键词:** 蜂窝夹层结构; 滚筒剥离强度; NH-1-2.75-72 Nomex 蜂窝

## The Cylinder Peel Strength of Honeycomb Sandwich Structure

Liu Menyuan Cai Liangyuan Chen Mengyi

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

**Abstract:** The cylinder peel strength of honeycomb sandwich structure were studied in this paper. NH-1-2.75-72 Nomex aluminium honeycomb used as sandwich material, SW-280A/3218 glass fabric reinforced epoxy resin solidified at 130℃ were selected for skin. FM 73M and SY-24C-300 adhesive film for bonding skin and honeycomb. By applying one step autoclave and one step oven cure cycle, The honeycomb sandwich structure were produced. The cylinder peel strength were tested. The material of honeycomb sandwich structure has been used in manufacturing large-scale flat radome.

**Key words:** honeycomb sandwich structure; cylinder peel strength; NH-1-2.75-72 Nomex honeycomb

### 1 引言

高性能雷达天线罩一般采用蜂窝夹层结构<sup>[1, 2]</sup>。夹层结构比刚度、比强度好、重量轻, 有电气性能要求的夹层结构件芯层材料为 Nomex 蜂窝; 没有电性能要求的夹层结构件的芯层材料为减轻重量、提高刚度, 一般选用铝蜂窝。SW-280A/3218 中温固化环氧树脂玻璃布预浸料是夹层结构的蒙皮材料, SY-24C-300 胶膜<sup>[3]</sup>和 FM 73M 胶膜是中温固化的蒙皮材料与蜂窝芯层材料的胶接材料。

本文进行蜂窝夹层结构滚筒剥离强度试验研究, 蜂窝夹层结构蒙皮材料选用 SW-280A/3218 预浸料, 芯材材料选用 0.05/3 铝蜂窝 (铝箔不带孔)、0.03/2 铝蜂窝 (铝箔带孔)、NH-1-2.75-72 蜂窝, 胶接材料

选用 SY-24C-300、FM 73M 胶膜。分别采用烘箱固化工艺方法, 热压罐固化工艺方法一次共固化制备夹层结构平板滚筒剥离强度试验件, 测试了滚筒剥离强度。选用本文的材料和工艺方法, 制备的多夹层透波平板天线罩和 A 夹层铝蜂窝平板罩, 测试了滚筒剥离强度随炉件。其测试结果表明, 制备的夹层结构制件质量可靠, 满足设计要求。夹层结构件采用共固化, 制造的成本低、效率高。

### 2 实验

#### 2.1 材料

表 1 是蜂窝夹层结构选用的材料, 表 2 是三种不同规格密度相近的蜂窝芯层的基本性能。

作者简介: 刘梦媛(1964-), 高级工程师, 高分子材料专业; 研究方向: 功能复合材料。

收稿日期: 2013-10-09

表 1 材料

| 名称  | 牌号            | 应用部位    | 性能标准           | 备注                  |
|-----|---------------|---------|----------------|---------------------|
| 蜂窝  | NH-1-2.75-72  | 夹层芯材    | Q/6S 1383—2002 | 天线罩用蜂窝              |
| 铝蜂窝 | Γ0.03/2(LF2Y) | 夹层芯材    | HB 5443—1990   | 铝箔有孔(天津市蜂巢复合材料有限公司) |
| 铝蜂窝 | Γ0.05/3(LF2Y) | 夹层芯材    | HB 5443—1990   | 铝箔没有孔(625 所)        |
| 胶膜  | FM 73M        | 蒙皮与蜂窝胶接 | BMS 5—101      | 进口                  |
| 胶膜  | SY-24C-300    | 蒙皮与蜂窝胶接 | Q/6S 1386—2002 | 国产, 有电性能要求          |
| 预浸料 | SW-280A/3218  | 上下蒙皮    | Q/6S 1382—2002 | 国产                  |

表 2 蜂窝基本性能

| 芯材牌号<br>(铝芯材规格: 铝箔厚度/芯格边长) | 公称密度<br>/kg m <sup>-3</sup> | 室温 (23±5℃) |            |            |
|----------------------------|-----------------------------|------------|------------|------------|
|                            |                             | 平面压缩强度/MPa | 纵向剪切强度/MPa | 横向剪切强度/MPa |
| NH-1-2.75-72               | 72                          | 3.3        | 1.60       | 1.00       |
| Γ0.03/2(LF2Y)              | 66                          | 2.39       | 1.70       | 1.00       |
| Γ0.05/3(LF2Y)              | 68                          | 2.50       | 1.78       | 1.04       |

2.2 蜂窝夹层结构制备

按照 ASTM D1781-93 标准要求的滚筒剥离试样尺寸和数量, 进行 A 夹层结构平板制备。A 夹层结构平板的上下蒙皮 SW-280A/3218 预浸料及胶膜的裁剪尺寸是 430mm×380mm, 长度方向 430mm 为预浸料纤维径向, 上下蒙皮材料铺层顺序是 0°、0°、胶膜。完成裁剪、铺贴后, 在室温下抽真空将预浸料压实。在平板模具上, 按照下蒙皮、蜂窝、上蒙皮、隔离膜、工艺蒙皮进行固化工艺组合, 完成组合后, 在热压罐或烘箱中进行固化成型。

2.3 蜂窝夹层结构固化工艺

参照高性能雷达天线罩热压罐成型固化工艺的固化过程参数<sup>[1, 2]</sup>, 蜂窝夹层结构平板通过热压罐或烘箱成型工艺制备, 上下蒙皮及蜂窝共固化。

热压罐固化工艺为室温下抽真空至-0.090MPa 以下, 以罐温不大于 4℃/min 的升温速度加热升温, 空气温度升至 85±5℃时保持恒定, 当模具温度升至 80±5℃时, 加压至 0.3±0.02MPa, 然后继续升温至空气温度 135±5℃时保持恒定, 当模具温度升至 130±5℃, 保温保压 120±10min, 带压冷却至模具最高温度 60℃以下, 卸压出罐。

烘箱固化工艺为室温下抽真空至-0.090MPa 以下, 以烘箱空气不大于 4℃/min 的升温速度加热升温,

空气温度升至 70±5℃时, 保持恒定 30min, 然后继续升温至空气温度 135±5℃时保持恒定, 当模具温度升至 130±5℃, 保温 120±10min, 冷却至室温, 出烘箱。

2.4 性能测试

按照 ASTM D1781—93 标准, 进行滚筒剥离强度随炉件试样测试, 测试设备为 INSTRON MODE 1185 材料试验机。

3 结果与讨论

3.1 滚筒剥离强度

滚筒剥离强度是夹层结构用滚筒剥离试验测得的面板与芯子分离时单位宽度上的抗剥离力矩。制件在固化过程中, 通过测试滚筒剥离强度随炉件的单位宽度上的抗剥离力矩, 根据滚筒剥离强度的数值来判断蒙皮材料与芯材的固化胶接质量。作为非主承力件, 滚筒剥离强度设计指标值一般定为不小于 30(N mm)/mm<sup>[1]</sup>。

表 2 是制备的蜂窝夹层结构平板滚筒剥离强度试验件性能测试结果, 表 2 中滚筒剥离强度在 45.8(N mm)/mm 与 114.8(N mm)/mm 之间。蜂窝夹层结构平板滚筒剥离强度大于 30(N mm)/mm, 表明固化胶接质量可靠, 固化工艺参数满足蜂窝夹层结构平板制备的要求; SY-24C-300、FM 73M 胶膜与 SW-280A/3218 预浸料及 Nomex 蜂窝、铝蜂窝固化工艺匹配。

表 2 滚筒剥离强度

| 测试项目 |    | FM 73M       |         |         | SY-24C-300   |         |         |
|------|----|--------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
|      |    | NH-1-2.75-72 | Γ0.03/2 | Γ0.05/3 | NH-1-2.75-72 | Γ0.03/2 | Γ0.05/3 |
| 热压罐  | 上板 | 70.8         | 82.1    | 60.6    | 94.1         | 101     | 114.8   |
|      | 下板 | 61.8         | 82.1    | 82.4    | 92.2         | 84.6    | 96.8    |
| 烘箱   | 上板 | 74.0         | 92.2    | 45.8    | 97.6         | 96.9    | 109.5   |
|      | 下板 | 62.7         | 84.6    | 53.8    | 62.0         | 111     | 113.8   |

3.2 应用实例 1

某型装备用透波平板天线罩为 C 型蜂窝夹层结构, 尺寸 3500mm×3500mm, 位于阵面前表面。除具有良好的防护性能外, 电性能具有小损耗、反射率低、高透波, 并能承受风载荷, 在使用环境条件下能正常工作。该平板天线罩蒙皮材料为 SW-280A/3218 预浸料, 芯层为 NH-1-2.75-72 蜂窝, 蒙皮与芯层的胶接材料为 SY-24C-300 胶膜。采用热压罐固化成型工艺将

两层蜂窝三层蒙皮一次共固化。该透波平板天线罩随炉件滚筒剥离强度测试结果见表 3，表 3 中测试结果满足不小于 40(N mm)/mm 指标值的要求。表明固化工艺满足透波平板天线罩制备要求，透波平板天线罩质量可靠。

某型装备用上盖、中盖、下盖为 A 型铝蜂窝夹层结构，中盖尺寸 2000mm×3500mm，位于阵面后表面。用于自然防护、密封。上盖、中盖、下盖蒙皮材料为 SW-280A/3218 预浸料，芯层为 0.05/3 铝蜂窝（铝箔不带孔），蒙皮与芯层的胶接材料为 SY-24C-300 胶膜。采用热压罐固化成型工艺将中盖二层蒙皮及铝蜂窝一次共固化，采用烘箱固化成型工艺将上盖、下盖二层蒙皮及铝蜂窝一次共固化。随炉件滚筒剥离强度测试结果见表 3，表 3 中测试结果满足不小于 40(N mm)/mm 指标值的要求，表明固化工艺满足上盖、中盖、下盖制备要求，质量可靠。

采用烘箱固化成型工艺方法进行夹层结构地板制备。夹层结构地板蒙皮材料选用 SW-280A/3218 预浸料，芯层为 0.03/2 铝蜂窝（铝箔带孔），蒙皮与芯层的胶接材料为 SY-24C-300 胶膜。随炉件滚筒剥离强度测试结果见表 3，表 3 中测试结果满足不小于 35(N mm)/mm 指标值的要求，表明固化工艺满足夹层结构地板的制备要求，夹层结构地板制造成本低，质量可靠。

表 3 实例 1 滚筒剥离强度

| 测试项目                               |    | 透波平板<br>天线罩 | 中盖   | 上盖、下盖 | 夹层结构地板 |
|------------------------------------|----|-------------|------|-------|--------|
| 滚筒剥离强度<br>/(N mm) mm <sup>-1</sup> | 上板 | 51.7        | 79.4 | 52.2  | 65.2   |
|                                    | 下板 | 51.6        | 72.9 | 54.7  | 59.8   |

3.3 应用实例 2

某大型装备用透波平板天线罩，尺寸 3100mm×7200mm，为 C 型蜂窝夹层结构。该透波平板天线罩结构为两层蜂窝三层蒙皮，蒙皮材料为 SW-280A/3218 预浸料，芯层为 NH-1-2.75-72 蜂窝，蒙皮与芯层的胶接材料为 FM 73M 胶膜。采用热压罐固化成型工艺一次共固化。该大型透波平板天线罩的随炉件滚筒剥离强度测试结果见表 4，表 4 中测试结果满足不小于 40(N mm)/mm 指标值的要求，表明采用热压罐共固化成型工艺方法制备的大型平板天线罩满足设计要求，平板天线罩质量可靠，降低了平板天线罩制造成本；具有显著的经济效益、社会效益和军事效益。

表 4 实例 2 滚筒剥离强度

| 滚筒剥离强度<br>/(N mm) mm <sup>-1</sup> | 实测单个值                        | 平均值  |
|------------------------------------|------------------------------|------|
| 上板                                 | 95.5, 95.7, 100, 86.3, 100   | 95.5 |
| 下板                                 | 98.2, 86.8, 88.4, 89.7, 86.8 | 90.0 |

3.4 应用实例 3

某部队地空防御装备改装用透波平板天线罩，尺寸 2500mm×4000mm，为蜂窝多夹层结构。该透波平板天线罩结构为三层蜂窝四层蒙皮，蒙皮材料为 SW-280A/3218 预浸料，芯层为 NH-1-2.75-72 蜂窝，蒙皮与芯层的胶接材料为 SY-24C-300 胶膜。采用热压罐固化成型工艺一次共固化。在平板模具上，同时制备 A 夹层蜂窝结构滚筒剥离强度随炉件。随炉件滚筒剥离强度测试结果见表 5，表 5 中测试结果满足不小于 40(N mm)/mm 指标值的要求。表明采用热压罐一次共固化成型工艺方法制备多夹层结构平板天线罩质量可控；多夹层结构平板天线罩的固化成本低、制备效率高，具有很好的市场竞争力。

表 5 实例 3 滚筒剥离强度

| 滚筒剥离强度<br>/(N mm) mm <sup>-1</sup> | 实测单个值                        | 平均值  |
|------------------------------------|------------------------------|------|
| 上板                                 | 66.7, 61.7, 68.8, 67.3, 69.8 | 66.9 |
| 下板                                 | 73.1, 73.6, 68.9, 67.3, 74.3 | 71.4 |

4 结束语

蒙皮材料选用 SW-280A/3218 预浸料，芯材材料选用 0.05/3 铝蜂窝（铝箔不带孔）、0.03/2 铝蜂窝（铝箔带孔）、NH-1-2.75-72 蜂窝，胶接材料选用 SY-24C-300、FM 73M 胶膜。采用热压罐成型工艺方法及烘箱成型工艺方法制备的夹层蜂窝结构平板满足设计要求。

分别采用烘箱固化工艺方法，热压罐固化工艺方法一次共固化制备的大型夹层结构制件，滚筒剥离强度随炉件测试结果表明大型夹层结构制件质量可靠。

参考文献

1 刘梦媛, 白树成, 崔溢, 等. 超宽频带、高透波率机头天线罩研制. 探索 创新 交流 (第三集). 北京: 航空工业出版社, 2008: 575~581

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

3 梁滨, 刘清方, 赵升龙, 等. 可控流动性胶膜的研究[C]. 2004 北京国际粘接技术研讨会论文集. 北京: 北京粘接学会, 2004: 28

