

# 分步固化工艺对中温材料体系天线罩性能的影响

张 华 杨 明 陈梦怡 姜 健 崔 溢

(北京航空材料研究院,北京 100095)

**文 摘** 为探讨分步固化工艺对某中温材料体系天线罩性能的影响,本文对 SW-280A/环氧树脂预浸料、FM 73M 胶膜和 Nomex 纸蜂窝组成的中温材料体系层压板及蜂窝夹层结构试样多次固化后的力学性能及电性能进行了研究。结果表明:经一次、二次、三次、四次及五次固化后,力学性能及电性能变化幅度不大,无明显的下降趋势,说明多次固化未对该中温材料体系的力学性能及电性能造成影响。材料体系天线罩的制造可以采用分步固化工艺,分步固化工艺对其力学和电性能不会产生影响。

**关键词** 分步固化,中温材料体系,天线罩,力学性能,介电性能

## Effect of Curing by Steps on Properties of Radome Made of Moderate Temperature Material System

Zhang Hua Yang Ming Chen Mengyi Jiang Jian Cui Yi

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

**Abstract** To explore the effect of curing by steps on properties of radome made of moderate temperature material system, the mechanical and electromagnetic properties of laminate and honeycomb sandwich specimen after made of moderate temperature material system including SW-280A/epoxy prepreg, FM 73M film and Nomex honeycomb multi-curing was discussed in this paper. The results show that there are small changes in mechanical properties and electric properties and no significant downward trend after first, second, third, fourth and fifth curing. This implied that curing by steps doesn't have affect the mechanical and electromagnetic properties of the moderate temperature material system. So radomes made of the material system can be manufactured with curing by steps and curing by steps does not affect the mechanical and electromagnetic properties of radomes.

**Key words** Curing by steps, Moderate temperature material system, Radome, Mechanical property, Electromagnetic property

### 1 前言

树脂基复合材料以其良好的电磁波穿透性、高比强度、高比模量、优良的耐环境性及成型工艺性,广泛应用于各种天线罩的制造<sup>[1]</sup>。雷达罩的结构形式包括实芯半波壁结构、准半波壁结构、蜂窝夹层结构、泡沫夹层结构、FSS(带通式)结构和电抗加载结构等<sup>[2]</sup>。目前高性能天线罩多采用复合材料蜂窝夹层结构,夹层结构一般为蒙皮材料与蜂窝芯通过胶膜粘接而成,有 A 夹层和 C 夹层结构。环氧树脂/玻璃纤维增强复合材料是天线罩使用较多的一种蒙皮材料,力学性能、工艺性能优良。对环氧树脂而言,中温固化是指固化温度在 120~130℃ 之间,固化时间一般

为 1.0~2.0 h<sup>[3]</sup>。由北京航空材料研究院研制的 SW-280A/环氧树脂预浸料、Nomex 纸蜂窝及美国制造的 FM 73M 胶膜组成的夹层结构中温材料体系,性能优良,能够满足高性能天线罩的设计使用要求,已应用到多种机载、舰载和车载天线罩上。

对蜂窝夹层结构天线罩,成型工艺方法有两种:共固化和分步固化。共固化技术是将蒙皮、胶膜、蜂窝等所有罩体构成材料组合好,一次固化成型。分步固化是罩体分多次固化成型,如 A 夹层和 C 夹层结构可分别采用两次和三次固化。本文就此方面做了一些探讨。

### 2 实验

收稿日期:2009-09-20

作者简介:张华,1971 年出生,硕士,高级工程师,主要从事树脂基复合材料及制作方面的研究。E-mail:zhk@kingsolid.com

## 2.1 材料

SW-280A/环氧树脂预浸料由北京航空材料研究院制造,树脂质量分数(38±4)%,幅宽 900 mm。FM 73M 胶膜由美国 Cytec 公司制造,单位面积质量(300±30) g/m<sup>2</sup>,幅宽 900 mm。Nomex 蜂窝芯由北京航空材料研究院制造,密度(72±10)% kg/m<sup>3</sup>,孔格 2.75 mm,单张最大尺寸 2 600 mm×1 100 mm。

## 2.2 成形方法

测试蒙皮预浸料性能和蜂窝夹层结构性能的试样分别为层压板和 A 型夹层结构,成形采用真空袋-热压罐法。固化工艺为:室温下抽真空,加热升温,模板温度升至(45±5)°C 时,保温 30~60 min 后,继续升温至模温(85±5)°C 时加压至(0.3±0.02) MPa,撤真空,然后继续升温至(130±5)°C,保温保压 120 min,带压冷却至模板最高温度 60°C 以下,卸压

出罐。

一次固化即采用上述工艺成形复合材料试样,二次固化是将一次固化后的试样再进行一次上述固化工艺,依次类推。

## 2.3 试样的制备与测试

将制备的复合材料分别切割成标准试样,测试其力学及蒙皮材料的介电性能。其中层压板的拉伸采用 ASTM D3039M-2000、压缩性能采用 ASTM D6641M-2001、弯曲采用 ASTM D790M-2003、层间剪切强度采用 ASTM D2344M-2000、蜂窝夹层结构的滚筒剥离强度采用 ASTM D1781-1993 标准测试。

## 3 结果与讨论

表 1 给出了分别经过一次、二次、三次、四次、五次固化后复合材料层压板的力学性能。

表 1 多次固化后复合材料层压板力学性能

Tab. 1 Mechanical properties of composites laminate after curing by steps

固化次数	拉伸强度/MPa		拉伸模量/GPa		压缩强度/MPa		压缩模量/GPa		弯曲强度/MPa		弯曲模量/GPa		层间剪切强度/MPa	
	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°	0°	90°
一次	660	561	24.0	23.7	450	420	23.5	24.0	750	700	24.5	23.5	60.0	60.0
二次	647	579	26.0	24.0	448	403	25.9	24.6	845	769	28.5	27.3	63.6	65.1
三次	658	579	25.9	25.6	421	445	26.5	25.5	771	739	28.8	29.1	65.3	67.2
四次	638	548	25.1	22.4	430	411	26.5	24.2	796	765	26.9	26	63.8	64.3
五次	631	552	24.8	23.5	426	413	25.6	24.5	782	743	26.1	25.2	64.4	65.7

由表 1 可以看出,经一次、二次、三次、四次及五次固化后,层压板的拉伸强度及模量、压缩强度及模量、弯曲强度及模量、层间剪切强度,其变化幅度不大,无明显的下降趋势,表明多次固化未对蒙皮材料层压板的力学性能造成影响。

表 2 给出了分别经过一次、二次、三次、四次、五次固化后复合材料夹层结构滚筒剥离强度。

表 2 多次固化后复合材料夹层结构滚筒剥离强度

Tab. 2 Climbing drum peel strength of composites honeycomb sandwich after curing by steps

位置	滚筒剥离强度/(N·mm)·mm <sup>-1</sup>				
	一次	二次	三次	四次	五次
上板	80.0	73.2	71.9	74.3	70.1
下板	90.0	86.9	90.0	86.2	80.9

由表 2 数据可看出,蜂窝夹层结构的滚筒剥离强度,经一次、二次、三次、四次及五次固化后,变化幅度不大,表明多次固化未对其造成影响。

表 3 给出了分别经过一次、二次、三次、四次、五次固化后 SW-280A/环氧树脂蒙皮材料层压板的介电性能。

表 3 多次固化后蒙皮材料层压板的介电性能<sup>1)</sup>

Tab. 3 Electromagnetic properties of skin material laminate after curing by steps

固化次数	介电常数	介质损耗角正切/10 <sup>-2</sup>
一次	4.33	1.783
二次	4.29	1.738
三次	4.31	1.735
四次	4.32	1.746
五次	4.29	1.824

注:1)介电性能测试方法为谐振腔法,测试频率为 9.375 GHz。

由表 3 可以看出,蒙皮材料层压板的介电性能经一次、二次、三次、四次及五次固化后,变化幅度不大,表明多次固化未对蒙皮材料的介电性能造成影响。

通过上述试验结果分析,该材料体系经过一次固化后,SW-280A/环氧树脂预浸料、FM 73M 胶膜的固化已较完全,以后的每次固化复合材料均在真空和压力束缚条件下完成,其过程只会重复改变复合材料内部由于温度变化产生的残余应力,固化后复合材料的状态基本相同,因此其性能无明显变化。

(下转第 54 页)