

共固化复合材料/铝蜂窝夹层结构性能

潘玲英 孙宏杰 尹亮 林娜 杨智勇

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 采用共固化工艺制备了碳纤维增强复合材料面板/铝蜂窝夹层结构。通过考察固化压力对复合材料面板性能的影响确定了共固化的成型压力,对比分析了不同规格铝蜂窝及其夹层结构的力学性能。结果表明,对于薄面板,成型压力对面板力学性能的影响较小,规格为 $0.04\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 的铝蜂窝制备的夹层结构具有更高的比强度和比刚度,且成型工艺性好。

关键词 共固化,复合材料,铝蜂窝,夹层结构,性能

Properties of Co-Curing Composite Panel/Aluminium Honeycomb Sandwich Structure

Pan Lingying Sun Hongjie Yin Liang Lin Na Yang Zhiyong

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract Composite panel/aluminium sandwich structure was fabricated by the co-curing process. The effect of processing pressure on the properties of composite panel was investigated to determine the co-curing pressure. The properties of aluminium honeycomb with different dimension parameter and their sandwich structures were also tested and analyzed. The results show that the processing pressure has little effect on the properties of thin composite panel. The sandwich structure fabricated by the aluminium honeycomb of $0.04\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ has high specific strength and modulus, and is easier to fabricate. Therefore, it has more widely potential applications.

Key words Co-curing, Composite, Aluminium honeycomb, Sandwich structure, Property

0 引言

蜂窝夹层结构具有质量轻、比强度和比刚度、抗疲劳等优点,因此广泛应用于航空航天领域,如运载火箭有效载荷整流罩、卫星太阳能阵列基板、航天飞机的舱盖、飞机的机翼等^[1-4]。其中碳/环氧复合材料面板与铝蜂窝组成的夹层结构更为受人关注^[4]。

复合材料/蜂窝夹层结构共固化其特点是成本低、适合制造型面复杂的夹层结构^[5]。共固化工艺制造蜂窝夹层结构时,由于受蜂窝芯材的限制,固化成型压力低,存在通过蜂窝传递压力时面板受压严重不匀的固有问題,这会直接导致固化后面板中的纤维屈曲,并对预浸料层间粘接造成不利影响,因而使面板的力学性能降低。该方法成功的关键在于树脂与蜂窝材料的匹配性以及工艺过程中树脂流动的合理控制^[6]。

本文通过考察成型压力对复合材料面板性能的

影响确定了共固化的成型压力,并对不同规格铝蜂窝芯材及其夹层结构性能进行了对比分析,优选出工艺性及综合性能最优的夹层结构。

1 实验

1.1 原材料

MT300/603 预浸料,自制;铝蜂窝芯材,规格(铝箔厚度 \times 蜂窝边长)分别为 $0.05\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 、 $0.04\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 和 $0.03\text{ mm}\times 3\text{ mm}$,蜂窝芯高 15 mm ,自制;SJ-2A 胶膜(0.04 mm 厚)和 SJ-2C 底胶,黑龙江省科学院石油化学研究院生产。

1.2 碳纤维增强环氧树脂复合材料面板制备

碳纤维增强环氧树脂复合材料面板铺层为[碳布/02/碳布],采用热压罐固化工艺制备,固化温度为 180°C 。

1.3 共固化复合材料面板/铝蜂窝夹层结构制备

复合材料面板/铝蜂窝夹层结构采用单面板共固化工艺制备,首先固化成型一面面板,然后将面板

收稿日期:2012-06-01

作者简介:潘玲英,1983年出生,工程师,主要从事树脂基复合材料方面的研究工作。E-mail: panlybuaa@yahoo.com.cn

打磨,涂抹 SJ-2C 底胶,然后依次放置 SJ-2A 胶膜和清洗完晾干的铝蜂窝,之后再依次放置 SJ-2A 胶膜和未固化的 MT300/603 预浸料,其中预浸料铺层为 [碳布/02/碳布]。叠放好的待固化的蜂窝夹层结构采用热压罐固化工艺固化,固化温度为 180℃,最高固化压力为 0.25 MPa。

1.4 性能测试

1.4.1 复合材料面板

采用电子万能材料试验机(MTS 公司,MTS65/G)按照以下标准进行力学性能测试:拉伸性能,GB/T 3354—1999;压缩性能,QJ1403A—2004;弯曲性能,GB/T 3356—1999;层间剪切性能,DqEs 81—98;采用金相显微镜(LEICA 公司,MRDR)按 GB/T 3365—2008 测试复合材料面板的孔隙率及纤维含量。

1.4.2 铝蜂窝

采用 WD4050 电子万能试验机按照以下标准对铝蜂窝的性能进行测试:节点强度,GJB130.3—1986;平压性能,GJB130.3—1986。

1.4.3 共固化蜂窝夹层结构

采用 WD4050 电子万能试验机按以下标准对蜂窝夹层结构的性能进行测试:平拉强度,GB/T1452—2005;平压性能,GB/T1453—2005;弯曲性能,GB/T1456—2005;采用 MTS Sintech65/G 高低温环境试验机上按照 GB/T1454—2005 对侧压性能进行测试。

2 结果与讨论

2.1 成型压力对复合材料面板性能的影响

共固化过程中,热压罐压力可以使蜂窝芯子产生位移,甚至将其压塌,因此固化压力不易太高,而固化压力降低,有可能导致成型后材料面板孔隙率增加,同时由于固化过程中树脂固化的压实压力下降,导致层间树脂层变厚,力学性能下降^[7-8]。为了确定共固化成型压力,考察了成型压力对复合材料面板性能的影响。试验中分别采用 0.25 和 0.6 MPa 压力成型了碳纤维增强环氧复合材料面板,进行了拉伸、压缩、弯曲、层间剪切、孔隙率及纤维体积含量对比试验,结果见表 1。可以看出,成型压力高时,面板的力学性能高。这是因为,压力较小时,树脂固化时压实压力不够,易造成树脂流动不充分,从而导致纤维和树脂分散不均匀,层间树脂层较厚,从而导致复合材料力学性能下降^[9-11]。对于厚度较薄的面板(0.8 mm),成型压力为 0.25 和 0.6 MPa 时,均能有效排出树脂固化过程中的挥发份和气泡,从而得到孔隙率极低的高质量复合材料面板,不会导致因孔隙率增加而降低面板的力学性能,因此两种压力成型的复合材料面板的力学性能虽有差异但基本处于同一水平。故在后续共固化成型过程中,为保证面板性能的同时有效防止蜂窝芯子塌垮,选用 0.25 MPa 的成型压力制备夹层结构。

表 1 成型压力对复合材料面板性能的影响

Tab.1 Effects of processing pressure on mechanical properties of composite panel

成型压力 /MPa	纵向拉伸		纵向压缩		纵向弯曲		纵向层间 剪切强度/MPa	孔隙率	纤维体积分 数/%
	强度/MPa	模量/GPa	强度/MPa	模量/GPa	强度/MPa	模量/GPa			
0.25	999	91.4	688	95.1	1090	52.4	79.5	未检出	60.7
0.6	1010	97.3	726	94.3	1192	54.3	83.3	未检出	61.8

2.2 不同规格铝蜂窝的性能

铝蜂窝芯子由于压缩强度较低,弹性好,刚性差,易出现压皱、压倒塌等现象,因此在蜂窝夹层结构共固化过程中,易出现蜂窝芯子位移、压皱、塌垮甚至压碎等现象,一定程度上限制了该工艺的应用^[7]。为了考察不同规格铝蜂窝的共固化成型的工艺性,对几种常用规格铝蜂窝芯材的性能进行了对比分析,其具体性能如表 2 所示。可以看出,其中规格为 0.05 mm×5 mm 铝蜂窝的抗压强度最高,说明铝箔厚度的增加可有效提高蜂窝的抗压能力,能更好地防止共固化过程中出现蜂窝坍塌的现象。但同时由于蜂窝边长的增加,规格为 0.05 mm×5 mm 的蜂窝在相同长度范围内,蜂窝胶接节点少,因此节点强度要明显低于其他两种规格的蜂窝,使其在固化过程中抵抗位移变形

的能力变弱。综合考虑,规格为 0.03 mm×3 mm 和 0.04 mm×4 mm 的铝蜂窝更适宜应用于共固化成型工艺。

表 2 不同规格铝蜂窝性能对比

Tab.2 Properties of different aluminium honeycombs

蜂窝规格 /mm	密度 /kg·m ⁻³	节点强度 /N·cm ⁻¹	平压强度 /MPa	平压模量 /GPa
0.03×3	42	19.0	1.25	128
0.04×4	39	20.7	1.08	128
0.05×5	41	13.5	1.45	182

2.3 不同规格铝蜂窝夹层结构性能

采用 0.25 MPa 的共固化压力制备了三种不同宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2012 年 第 4 期

规格铝蜂窝夹层结构,并对其性能进行了对比分析,见表3。可以看出,规格为0.04 mm×4 mm的铝蜂窝制备的夹层结构总体性能更优。这是因为对蜂窝夹层结构来说,其性能的高低取决于蜂窝和面板的协同作用,由于蜂窝的存在,共固化使得面板固化压力不均匀,导致面板性能降低^[12]。不同规格蜂窝对共固

化面板的影响也有所不同,规格为0.04 mm×4 mm铝蜂窝制备的夹层结构,由于蜂窝箔厚和边长适中,使得固化时面板受到的压力较为均匀,因此性能更佳。上述结果表明,规格为0.04 mm×4 mm的铝蜂窝更适合应用于共固化成型工艺。

表3 不同规格铝蜂窝夹层结构性能对比

Tab.3 Properties of sandwich structure with different aluminium honeycombs

蜂窝规格 /mm	平拉强度 /MPa	纵向侧压		纵向弯曲		纵向剪切	
		强度/MPa	模量/GPa	强度/MPa	刚度/N·m ⁻²	刚度/kN	模量/GPa
0.03×3	4.12	34.7	8.56	236	735	148	130
0.04×4	4.17	40.9	8.60	304	741	155	163
0.05×5	3.35	37.9	8.49	229	679	164	173

3 结论

(1)对于厚度较薄的面板,成型压力为0.25和0.6 MPa时,均能有效排出树脂固化过程中的挥发份和气泡,从而得到孔隙率极低的高质量复合材料面板。两种压力成型的复合材料面板的力学性能虽有差异但基本处于同一水平,因此在夹层结构共固化成型过程中,建议选用0.25 MPa的成型压力。

(2)规格为0.05 mm×5 mm铝蜂窝的抗压强度最高,能更好地防止共固化过程中出现蜂窝坍塌的现象,但在固化过程中抵抗位移变形的能力较弱。综合考虑,规格为0.03 mm×3 mm和0.04 mm×4 mm的铝蜂窝更适宜应用于共固化成型工艺。

(3)规格为0.04 mm×4 mm铝蜂窝制备夹层结构,由于蜂窝箔厚和边长适中,使得共固化时面板受到的压力较为均匀,因此制得的夹层结构性能更佳,更适合应用于共固化成型工艺。

参考文献

[1] 沃西源,黄云. 碳/环氧面板-铝蜂窝夹层结构件损伤修补工艺[J]. 高科技纤维与应用, 2003, 28(1):35-39
 [2] 张建可,冀勇夫. 碳纤维面板铝蜂窝夹层结构低温热导率测试研究[J]. 真空与低温, 2003, 9(1):35-38
 [3] George Epstein, Susan Ruth. Honeycomb sandwich structures: vented versus unvented designs for space systems [R]. TR-93(3904)-1, Los Angeles: Space and Missile Systems Center Air Force Material Command, 1993:1-21

[4] Mauri R E, Duggan D. Strength retention and corrosion resistance of graphite/epoxy-aluminum honeycomb sandwiches in salt spray and high humidity environments [R]. ADA083715, 1980:1-51

[5] 赵鹏飞,赵景丽,何颖. 共固化成型无人机用复合材料/蜂窝夹层结构面板的性能[J]. 玻璃钢/复合材料, 2009(1):62-64

[6] 原崇新,李敏,顾轶卓,等. 蜂窝夹层结构真空袋共固化工艺过程实验研究[J]. 复合材料学报, 2008, 25(2):57-62

[7] 盛磊. 蜂窝夹层结构芯子塌垮的工艺分析[J]. 航天工艺, 1994(6):27-30

[8] 朱洪艳,李地红,张东兴,等. 固化压力对碳纤维复合材料层压板的孔隙和力学性能的影响[J]. 固体火箭技术, 2009, 32(6):694-697

[9] 张宝艳,周正刚,庄文波. 成型压力对5428VB/T700复合材料微观结构与性能的影响[J]. 材料工程, 2009(10):67-72

[10] 朱洪艳,李地红,张东兴,等. 固化压力对碳纤维复合材料层压板的孔隙和力学性能的影响[J]. 固体火箭技术, 2009, 32(6):694-697

[11] 毕向军,李宗慧,唐泽辉,等. 基于压力的树脂基复合材料成型工艺设计[J]. 玻璃钢/复合材料, 2010(1):86-88

[12] 张广成,赵景利. 蜂窝夹层结构复合材料的力学性能研究[J]. 机械科学与技术, 2003, 22(2):280-282

(编辑 任涛)