

一种中温透波自黏性树脂及复合材料性能研究

王婷婷^{1,2*} 张宝艳^{1,2} 闫鸿琛^{1,2} 石峰晖^{1,2} 马兆丹^{1,2} 李峰²

(1. 中国航空制造技术研究院复合材料技术中心,北京 101300;2. 中航复合材料有限责任公司,北京 101300)

摘要:

研制了一款中温透波自黏性树脂,对树脂的凝胶时间、流变性能等进行了测试,使用该树脂制备了中温透波自黏性玻璃纤维织物及石英纤维织物预浸料,对预浸料的物理性能进行了表征测试。研究了复合材料层合板的耐热性、力学性能和介电性能,结果表明复合材料玻璃化转变温度达 148℃,具有优良的力学性能和介电性能,且在 93℃时具有较高的力学性能保持率,满足使用要求。进行预浸料和蜂窝胶接,测试了试验件的剥离强度,结果表明滚筒剥离强度 $\geq 50\text{N}\cdot\text{mm}/\text{mm}$,树脂预浸料自黏性较好,夹层结构的滚筒剥离强度高,满足应用指标要求。与民机用典型进口预浸料体系 CYCOM[®] 7701/7781 对比,两种复合材料室温干态及 93℃干态层间剪切性能相当,ACTECH[®] 1210/2221 在耐热性与介电性能方面更具优势。

关键词: 预浸料;复合材料;自黏性;介电性能;力学性能

中图分类号: V258

文献标识码: A



0 引言

透波复合材料是指在宽频带具有良好的透波性能,同时具有较好强刚度的一类功能复合材料,主要应用于地面雷达、舰艇雷达、机载雷达等以及飞机、导弹、卫星等的天线窗、天线罩等^[1]。目前应用最广泛的树脂基复合材料,具有价格相对较低、工艺性能较好、物理机械性能好及可设计加工性等良好综合性能^[2-4]。随着现代化战争的需求、航空技术的快速发展以及 5G 时代的到来,研制出具有良好介电性能、力学性能及工艺性能的透波复合材料,成为近年来的研究重点^[5-7]。

复合材料夹芯结构是由复合材料面板与低密度芯材组成,具有极高的比强度和比刚度,被越来越多地应用于现代航空飞行器结构,尤其是机身蒙皮或整流罩等结构中^[8-11]。针对胶膜黏接夹芯结构带来的成本上升、重量增大等问题,及胶接材料介电性能对透波性能的影响^[12-13],采用自黏性预浸料,制

备无胶膜夹芯结构是一种较好的解决方法。

研制一种具有优良介电性能和力学性能,且在 93℃具有较高的力学性能保持率,满足使用要求的自黏性树脂基预浸料,树脂命名为 ACTECH[®] 1210 中温固化环氧树脂。实验主要对 ACTECH[®] 1210 玻璃纤维及石英纤维复合材料的性能进行研究。

1 实验

1.1 原料

树脂:自制环氧树脂体系,牌号 ACTECH[®] 1210;
玻璃纤维织物:2221,四川省玻纤集团有限公司,性能如表 1 所示。

表 1 玻璃纤维织物性能

牌号	经密 (根/cm)	纬密 (根/cm)	重量 (g/m ²)	厚度 (mm)
2221	22.4	21.3	299 ± 5	0.295

石英纤维织物:QW220,湖北菲利华石英玻璃股

* 通信作者。E-mail: buaawtt@126.com

引用格式: 王婷婷,张宝艳,闫鸿琛,石峰晖,马兆丹,李峰. 一种中温透波自黏性树脂及复合材料性能研究[J]. 民用飞机设计与研究,2019(4):45-50. WANG T T,ZHANG B Y,YAN H C,SHI F H,MA Z D,LI F. Study on properties of a medium-temperature wave-transparent & self-adhesive resin and composites[J]. Civil Aircraft Design and Research,2019(4): 45-50(in Chinese).

份有限公司,性能如表 2 所示。

表 2 石英纤维织物性能

牌号	经密 (根/cm)	纬密 (根/cm)	重量 (g/m ²)	厚度 (mm)
QW220	16 ± 1	16 ± 1	230.0 ± 20.0	0.220 ± 0.022

芳纶蜂窝: NH-1-1.83-48-12, 航空工业复材。

1.2 预浸料制备

采用热熔两步法将 ACTECH[®] 1210 树脂分别与 2221 玻璃纤维织物及 QW220 石英纤维织物复合制备预浸料。

1.3 层压板及蜂窝夹层板制备

采用热压罐成型工艺制备复合材料层压板及蜂窝夹层板, 固化工艺为: 125 °C × 90 min, 压力为 0.3 Mpa, 过程中升温速率 1 °C/min ~ 3 °C/min, 降温速率 ≤ 2 °C/min, 60 °C 卸压出罐。

1.4 性能测试

1.4.1 树脂性能

流变性能测试所用仪器为 AR2000 型流变仪, 测试升温速率为 2 °C/min; 凝胶时间采用 HB7736 标准进行测试。

1.4.2 预浸料性能

按 HB7736 标准, 对制备得预浸料进行纤维面密度、树脂含量及挥发份测试。

1.4.3 复合材料性能

层压板耐热性能: 测试所用仪器为 DMA Q800 型, 采用双悬臂模式, 测试条件: 升温速率 5 °C/min, 室温扫描至 300 °C, 取 tanδ 峰值为玻璃化转变温度。

层压板力学性能: 按照 ASTM 相关测试标准, 每批次试样测试 6 根, 取三批次试样平均值进行对比。

夹层板性能: 按 ASTM D1781 标准对蜂窝夹层板进行滚筒剥离测试。

1.4.4 介电性能测试

介电性能测试采用 HP8722ES 型仪器, 方法为谐振腔法, 测试标准为 GB/T 5597-1999, 测试试样的介电常数和介电损耗正切值。试样尺寸为 φ61 mm, 测试频率为 9.375 GHz。

2 结果与讨论

2.1 树脂性能

2.1.1 树脂黏度

对于预浸料树脂体系, 树脂黏度会影响热熔法

生产制备预浸料制备过程中树脂对于增强纤维的浸润程度, 同时也会影响固化成型过程中预浸料与蜂窝的黏接状态。在蜂窝与预浸料胶接共固化过程中, 芳纶纸蜂窝承受压力不能太大, 以免发生蜂窝压塌等缺陷, 施加压力通常不大于 0.3 Mpa, 因此对树脂黏度提出了更高的要求。在固化成型温度范围内, 树脂黏度过高或过低均会影响成型过程中树脂的流动, 适宜的树脂黏度可保证树脂对纤维的浸润性, 同时也可保证较低的孔隙率与较高的蜂窝黏接强度。

图 1 为 ACTECH[®] 1210 树脂的黏温曲线, 升温速率为 2 °C/min。黏度-温度曲线的拐点温度约为 105 °C。ACTECH[®] 1210 树脂黏度较适于热熔两步法制备预浸料, 且较适于中温固化工艺。

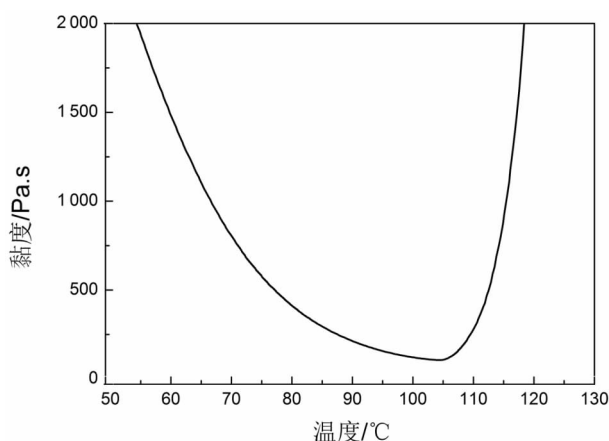


图 1 ACTECH[®] 1210 树脂黏温曲线

2.1.2 树脂凝胶时间

树脂凝胶时间可反映树脂固化过程中反应活性, 在固化成型工艺过程中, 凝胶时间短, 则树脂流动时间短, 树脂流动不足, 对层压板成型质量产生不利影响; 反之, 凝胶时间长, 则固化反应速度慢, 不利于预浸料与蜂窝的黏接。根据 HB 7736. 7-2004, 测试树脂凝胶时间, 结果如表 3 所示, 凝胶时间较为适宜。

表 3 ACTECH[®] 1210 树脂凝胶时间

测试温度/°C	凝胶时间/min
125	7.8

2.2 预浸料性能

采用两步法热熔预浸工艺制备预浸料。两步法热熔预浸工艺分为涂膜和预浸两个步骤, 关键在于

将树脂均匀涂覆在表面剥离力适宜离型纸表面。影响涂胶质量的主要因素有涂膜温度、涂膜速率、车速比等。涂膜温度偏高,树脂流动性强,易产生树脂分布不均,且胶膜表面质量较差;涂膜温度偏低,树脂黏度偏大,不易涂覆到离型纸上,且对生产设备负担较大,易出现设备功率过载等问题。此外,选取涂膜及预浸工艺温度时,应保证在操作温度范围内,树脂固化反应较慢,黏度增加不大,性质较为均一稳定,从而保证胶膜的均一稳定性、树脂对纤维的浸润性和制备得预浸料的铺覆性和表面黏性。

根据 ACTECH[®] 1210 树脂的熔融黏度、流动性、凝胶时间等特性,选取适宜的涂膜及预浸温度,并对涂膜速率、预浸速率、车速比、热辊间隙等工艺参数进行多次调节试验,制备得预浸料外观均匀平整,铺覆性良好,树脂含量偏差控制较好,按 HB7736 测试得物理性能满足表 4 要求。

表 4 热熔法制备预浸料物理性能

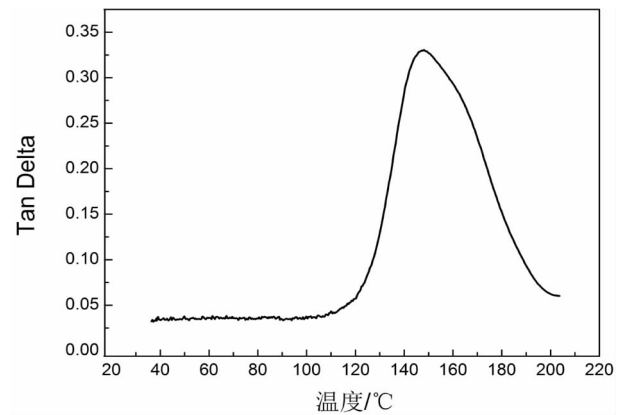
牌号	树脂含量 /%	纤维面密度 /g·m ⁻²	挥发份 /%
ACTECH [®] 1210/2221	38 ± 2	299 ± 5	≤ 1.5
ACTECH [®] 1210/QW220	38 ± 2	230 ± 20	≤ 1.5

表 5 ACTECH[®] 1210/2221 复合材料力学性能

项目	经向拉伸强度 /MPa	经向拉伸模量 /GPa	纬向拉伸强度 /MPa	纬向拉伸模量 /GPa	经向弯曲强度 /MPa	经向弯曲模量 /GPa
试验方法	ASTM D3039				ASTM D790	
室温干态	345	23.9	326	23.1	657	23.5
标准差	11.0	0.363	10.3	0.148	10.2	0.351
93℃干态	307	22	274	20.6	644	23.0
标准差	5.05	0.150	7.12	0.258	13.0	0.450
力学性能保持率/%	89	92	84	89	98	98
项目	经向压缩强度 /MPa	经向压缩模量 /GPa	纬向压缩强度 /MPa	纬向压缩模量 /GPa	短梁剪切强度 /MPa	
试验方法	ASTM D6641				ASTM D790	
室温干态	502	25.0	387	24.7	68.5	
标准差	9.06	0.308	7.94	0.147	0.565	
93℃干态	398	—	275	—	46.3	
标准差	5.71		7.87		0.780	
力学性能保持率/%	79	—	71	—	68	

2.3 复合材料耐热性

图 2 为 ACTECH[®] 1210/2221 复合材料的 DMA 曲线,其玻璃化转变温度为 148℃,耐热性较好。

图 2 ACTECH[®] 1210/2221 DMA 曲线

2.4 复合材料力学性能

表 5 ~ 表 7 列出了室温干态条件下及 93℃ 干态条件下 ACTECH[®] 1210/2221 及 ACTECH[®] 1210/QW220 三批次复合材料力学性能的平均值,通过三批次数据测试,是为了消除试样制备及测试过程中的偶然性,能较真实地反应出材料具体性能指标。

表 6 ACTECH® 1210/QW220 复合材料力学性能(室温干态)

项目	经向拉伸强度 /MPa	经向拉伸模量 /GPa	纬向拉伸强度 /MPa	纬向拉伸模量 /GPa	经向弯曲强度 /MPa	经向弯曲模量 /GPa	短梁剪切强度 /MPa
试验方法	ASTM D3039				ASTM D790		ASTM D2344
室温干态	703	22.9	595	23.0	634	23.1	68.3
标准差	7.34	0.098 3	4.75	0.214	17.4	0.122	0.565

表 7 ACTECH® 1210/QW220 复合材料力学性能(93℃干态)

项目	经向弯曲强度 /MPa	经向弯曲模量 /GPa	短梁剪切强度 /MPa
93℃干态	466	22.3	46.6
力学性能保持率/%	74	97	68

从表 5 可看出,ACTECH® 1210/2221 力学性能较好,在 93℃ 下力学性能均有不同程度的下降,其中层间剪切强度保持率最小,为 68%,其他力学性能保持率均在 71% 以上。

从表 6 及表 7 可看出,ACTECH® 1210/QW220 力学性能较好,在 93℃ 下力学性能均有不同程度的下降,其中层间剪切强度保持率最小,为 68%,其他力学性能保持率均在 74% 以上。

因此,由上述数据可知,ACTECH® 1210/2221 及 ACTECH® 1210/QW220 复合材料具有较高的 93℃ 力学性能保持率。

2.5 复合材料介电性能

表 8 为 ACTECH® 1210/2221 及 ACTECH® 1210/QW220 两种复合材料介电性能。可知两种复合材料介电性能优异,满足透波要求。

表 8 复合材料介电性能

材料	介电常数	介电损耗角正切值
ACTECH® 1210/2221	4.45	0.001 3
ACTECH® 1210/QW220	3.42	0.000 8

2.6 预浸料树脂含量对黏接性能影响

不使用胶膜,直接将 ACTECH® 1210/2221 预浸料铺覆在蜂窝上下表面,按 1.3 所述固化工艺固化成型,制备得蜂窝夹层结构的滚筒剥离强度表征复合材料面板与蜂窝芯材的黏接强度。ACTECH® 1210/2221 预浸料的树脂质量分数与滚筒剥离强度关系如表 9 所示。由表 9 可知,随预浸料树脂含量的升高,滚筒剥离强度上升。且树脂含量为 44% 时,滚筒剥离强度可达 73.8 N. mm/mm,证明面板与

蜂窝芯材黏接良好,预浸料具有优异的自黏性。制备夹层结构时,无需使用胶膜,预浸料可直接与蜂窝黏接。

表 9 ACTECH® 1210/2221 树脂含量与滚筒剥离强度关系

树脂含量/%	滚筒剥离强度/N. mm/mm
38	51.2
40	67.7
44	73.8

2.7 ACTECH® 1210/2221 与 CYCOM® 7701/7781 体系关键性能对比

CYCOM® 7701/7781 预浸料体系在现代民机结构得到广泛应用^[14-15],通过查询索尔维公司官方网站产品信息,CYCOM® 7701/7781 具有优异的自黏性、耐高温性,优良的力学性能及介电性能,表 10 为 ACTECH® 1210/2221 与 CYCOM® 7701/7781 体系与树脂相关的关键性能对比,可看出两种复合材料室温干态及 93℃ 干态层间剪切性能相当,ACTECH® 1210/2221 的耐热性和介电性能较好。

表 10 ACTECH® 1210/2221 与 CYCOM® 7701/7781 性能对比

项目	ACTECH® 1210 /2221	CYCOM® 7701 /7781
室温层间剪切强度/MPa	68.5	66
93℃层间剪切强度/MPa	46.3	35
介电常数	4.45	4.8
介电损耗	0.013	0.014
Tg/℃	148	127

3 结论

1) ACTECH® 1210 树脂黏度适中,凝胶时间适宜,适合用两步法热熔预浸工艺制备预浸料;

2) ACTECH® 1210/2221 复合材料及 ACTECH® 1210/QW220 复合材料具有优异的介电性能、优良

的力学性能,且在93℃具有较高的力学性能保持率,耐热性良好;

3) ACTECH® 1210/2221 预浸料自黏性优异,且随树脂含量升高,其蜂窝夹层结构的滚筒剥离强度增大;

4) ACTECH® 1210/2221 与民机领域常用进口材料 CYCOM® 7701/7781 对比,两种复合材料室温干态及93℃干态层间剪切性能相当,且 ACTECH® 1210/2221 在耐热性与介电性能方面更具优势。

参考文献:

- [1] 邢丽英. 结构功能一体化复合材料技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2017: 59-63.
- [2] 陈祥宝, 张宝艳, 邢丽英. 先进树脂基复合材料技术发展及应用现状[J]. 中国材料进展, 2009, 28(6): 2-12.
- [3] 赵稼祥. 民用航空和先进复合材料[J]. 高科技纤维与应用, 2007(2): 6-10.
- [4] 陈挺, 张迎春, 谭永刚, 等. 民用飞机复合材料结构制造工艺变化的等效性验证[J]. 民用飞机设计与研究, 2014(3): 39-43, 76.
- [5] 王飞, 石佩洛. 树脂基复合材料在雷达天线罩领域的应用及发展[J]. 宇航材料工艺, 2017(2): 10-13.
- [6] 杨洁颖, 吕毅, 张春波, 等. 飞行器用透波材料及天线罩技术研究进展[J]. 宇航材料工艺, 2015, 45(4): 6-9.
- [7] 高坤, 孙宝岗, 杨智勇, 等. 透波复合材料用树脂基体介电性能的改善研究进展[J]. 功能材料, 2015, 46(增刊2): 44-48, 55.
- [8] 张广平, 戴干策. 复合材料蜂窝夹芯板及其应用[J]. 纤维复合材料, 2000, 17(2): 25-27, 6.
- [9] 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制[C]// 大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会学术年会. [S. l. : s. n.], 2007.

- [10] 贾欲明, 韩全民, 李巧, 等. 泡沫夹层结构在飞机次承力结构中的应用[J]. 航空制造技术, 2009(增刊1): 8-12.
- [11] 蔡良元, 王青海, 张强. 覆盖 X 波段到 Ka 波段的超宽带天线罩[J]. 宇航材料工艺, 2010, 40(2): 37-40.
- [12] 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.
- [13] 王振林. 5228A 树脂基无胶膜蜂窝夹芯结构黏结性能研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2013(3): 97-101.
- [14] 轩立新, 肖辉江. MXB7701/7781 预浸料在 ARJ21 飞机雷达罩上的应用[J]. 航空制造技术, 2009(1): 66, 68.
- [15] 管清宇, 李卫平. 湿热环境对 7781/CYCOM 7701 玻璃纤维/环氧复合材料典型力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 2018, 35(12): 3288-3297.

作者简介

王婷婷 女, 硕士, 助理工程师。主要研究方向: 树脂基复合材料。E-mail: buaawtt@126.com

张宝艳 男, 博士, 研究员。主要研究方向: 树脂基复合材料。E-mail: zhangbaoyan0916@126.com

石峰晖 男, 博士, 研究员。主要研究方向: 树脂基复合材料。E-mail: fenghuishi@126.com

闫鸿琛 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 树脂基复合材料。E-mail: yan_hc@foxmail.com

马兆丹 女, 学士, 工程师。主要研究方向: 树脂基复合材料。E-mail: mazhaodan@126.com

李峰 男, 学士, 高级技师。主要研究方向: 树脂基复合材料。E-mail: fy412@sina.com

Study on properties of a medium-temperature wave-transparent & self-adhesive resin and composites

WANG Tingting^{1,2*} ZHANG Baoyan^{1,2} YAN Hongchen^{1,2} SHI Fenghui^{1,2} MA Zhaodan^{1,2} LI Feng²

(1. AVIC Manufacturing Technology Institute Composite Technology Center, Beijing 101300, China;

2. AVIC Composite Co. Ltd, Beijing 101300, China)

Abstract: A medium-temperature wave-transparent and self-adhesive resin was developed while the gel time and rheological properties were tested. Glass fiber fabric and quartz fiber fabric reinforced epoxy resin prepregs were pre-

pared using the medium-temperature wave-transparent & self-adhesive resin, and the physical properties were characterized at the same time. The heat-resistance, mechanical properties and dielectric property of composite laminates were studied. The results show that the glass-transition temperature of composites is 148°C; the composites have good mechanical properties and excellent dielectric property; and the 93°C mechanical properties are good. The prepreg were bonded with honeycomb material without coating. The roll peel strength of honeycomb sandwich was tested. The results show that the roll peel strength of ≥ 50 N·mm/mm satisfies with application requirements. Compared with typical imported prepreg system of civil aircraft- CYCOM[®] 7701/7781, the room temperature and 93°C short-beam shear strength performances of two kinds of composites are equivalent, and ACTECH[®] 1210/2221 is better in dielectric property and heat-resistance.

Keywords: prepreg; composites; self-adhesive; dielectric property; mechanic properties

* Corresponding author. E-mail: buaawtt@126.com