

环氧树脂/芳纶布复合材料性能研究与应用

乌云其其格 廖子龙 李 明

(北京航空材料研究院,北京 100095)

摘要 研究了3233环氧树脂/796芳纶布复合材料的力学性能。结果表明,3233环氧树脂/796芳纶布复合材料的常规性能和耐热性较好,采用模压法和热压罐法成型的层压板性能相当,夹层板的滚筒剥离强度高,树脂基体具有韧性,扫描电镜观察发现复合材料的界面粘接情况良好。该预浸料已用于直升机次承力结构。

关键词 环氧树脂 芳纶布 复合材料 性能 应用

环氧树脂(EP)基复合材料是目前研究最多、应用最广的一种复合材料。它具有质量轻、强度高、模量大、耐腐蚀性好、电性能优异、原料来源广泛、工艺性好、加工成型简便、生产效率高等特点,并具有材料可设计性及一些特殊的功能,如透电磁波、消音等,已成为国民经济、国防建设和科技发展中无法代替的重要材料。芳纶纤维是一种高强度、高模量、低密度和耐磨性好的有机纤维,其复合材料的比强度、比模量高,韧性好,电绝缘性和透波性等性能优异,已在航空航天领域得到广泛应用^[1]。

笔者研究了EP/芳纶纤维复合材料的性能,所采用的自制3233中温固化EP具有固化温度低、成型周期短、贮存期长等特点,其固化温度为100~150℃,固化时间为1.0~1.5h,它浸渍芳纶布制成的预浸料贮存期为常温下1个月、-18℃下1年^[2]。用3233EP直接制备胶膜,作为中温固化胶膜使用,其铝-铝剪切强度大于30MPa(按GB7124-1986测试)。3233EP浸渍玻璃布、碳布及芳纶布所制预浸料的外观均匀、粘性适中、工艺性好。3233EP及其复合材料的性能类似于国外在直升机上广泛使用的145.4(Ciba公司)和F155中温固化EP及其复合材料(Hexcel公司)^[3]。

笔者采用3233中温固化EP浸渍用Kevlar 49纺织的牌号为796的芳纶布,制备了复合材料层压板,并研究了其各项性能。这种复合材料层压板可采用模压法或热压罐法成型,比较了两种成型方法对层压板力学性能的影响。3233EP/796芳纶布预浸料与铝蜂窝夹层结构的滚筒剥离强度高,可直接与蜂窝或泡沫结构胶接,一次固化成型,不需要胶膜。可用热压罐法、真空袋法和模压法成型制件,已应用于直升机次承力结构件,如发动机进气道、舱内的座椅等,可使结构件减重,并且性能良好,不易分层。

1 实验部分

1.1 主要原材料

EP: 3233, 加入双氰胺和改性剂, 自制;

芳纶布: 796, 法国Hexcel公司。

1.2 设备与仪器

热熔预浸机: 自制;

旋转粘度仪: Brookfield DV-I型, 美国Brookfield Engineering LABS公司;

电子式万能试验机: WDS-100型, 济南试验机制造厂;

动态机械热分析仪: PL-III DMTA型, 美国流变科学公司;

扫描电镜(SEM): AMRAY-1000B型, 中科院科学仪器研制中心。

1.3 试样制备

(1) 预浸料

采用热熔两步法预浸工艺制备3233EP/796芳纶布预浸料, 即第一步采用胶膜机制备热熔胶膜, 第二步采用预浸机使胶膜浸渍纤维或织物。

(2) 层压板

模压成型 按层压板铺层要求裁剪预浸料, 按0°方向铺贴, 放入涂有脱模剂(或覆有隔离膜)的模具内, 用限位条控制其厚度, 进行模压成型。预浸料铺层层数为23层, 层压板厚度为(2.0±0.1)mm。固化工艺为起始加压, 升温速率1.5~3.0℃/min, 由室温升温至(125±5)℃并保温90min, 自然冷却至60℃以下, 卸压出模, 裁成标准试样。

热压罐成型 按层压板铺层要求裁剪预浸料, 铺贴预浸料和所需要的辅助材料, 组合。固化工艺为室温下抽真空, 真空度为0.1MPa, 施加0.2MPa压力, 升温, 升温速率1.5~3.0℃/min, 由室温升温

至(125 ±5)℃并保温 90 min; 自然冷却至 60℃以下取出, 裁切成标准试样。

(3) 夹层板

试样用芯材为 NA - G5 铝蜂窝, 其厚度为 16 mm。上下面板铺层对称铺贴, 每面 5 层。预浸芳纶布的经向与蜂窝的 L 方向平行, 纬纱面与蜂窝接触。将组装好的真空袋放入真空烘箱内, 边抽真空边升温, 升温速率 1.5 ~3.0℃/min, 由室温升至 (125 ±5)℃, 并保温 90 min; 自然冷却至 60℃以下取出, 裁切成标准试样。

1.4 性能测试

预浸料树脂含量或预浸料单位面积质量按 JC/T 780 -1987 测试;

拉伸性能按 GB/T 3354 -1999 测试;

压缩性能按 GB/T 3856 -2005 测试;

纵横剪切性能按 GB/T 3355 -2005 测试;

弯曲性能按 GB/T 3356 -1999 测试;

层间剪切强度按 JC/T 773 -1982 测试;

滚筒剥离强度按 Q/6S 1145 -1994 测试。

2 结果与讨论

2.1 3233 EP/796 芳纶布预浸料的物理性能

796 芳纶布的物理性能见表 1。

表 1 796 芳纶布的物理性能

单位面积质量 / g · m ⁻²	织物密度 / 根 · (10 mm) ⁻¹	织物类型	质量分布 /%
61 ±7	经向: 13.3 ±0.5 纬向: 13.3 ±0.5	平纹	经向: 50 ±1.0 纬向: 50 ±1.0

3233 EP/796 芳纶布预浸料是通过两步热熔胶膜法制备的。预浸工艺参数主要有纤维张力、速率、浸渍温度、压力等。浸渍速率快、时间短, 要求浸渍温度高、压力大。浸渍温度高, 树脂粘度小, 在压力下容易浸透增强材料。但温度过高, 在辊压时树脂因粘度低而向横向流动, 导致树脂含量不均匀或树脂含量降低, 并可能影响预浸料的贮存期。通过试验, 在涂胶温度为 70℃、涂胶速率为 4 m/min、浸渍速率为 2 m/min、浸渍温度为 90℃、各辊间距恒定时, 可得到符合标准指标的预浸料。预浸料的外观均匀平整、无干纱、粘性适中, 其物理性能见表 2。

表 2 3233 EP/796 芳纶布预浸料的物理性能

项 目	指标值	测试值
单位面积质量 /g · m ⁻²	175 ±15	180
树脂含量 /%	57.5 ~71.5	66
挥发分含量 /%	≤1.5	0.3
凝胶时间 /min		15

从表 2 可见, 该预浸料的物理性能满足指标要求, 其外观和工艺性良好, 可满足复杂曲面制件对预浸料柔软性和粘性的要求。

2.2 3233 EP/796 芳纶布复合材料的性能

(1) 3233 EP/796 芳纶布复合材料的力学性能

用 3233 EP 体系可以制备不同织物及单向纤维的预浸料, 所制备的预浸料粘性适中, 工艺性好, 并可以制造复杂曲面的制件。其复合材料具有良好的力学性能。3233 EP/796 芳纶布复合材料的力学性能见表 3。

表 3 3233 EP/796 芳纶布复合材料的力学性能

项目	模压法	热压罐法
弯曲强度 /MPa	350	342
弯曲弹性模量 /GPa	23.6	24
0°拉伸强度 /MPa	500	487
0°拉伸弹性模量 /GPa	29.2	31
90°拉伸强度 /MPa	481	490
90°拉伸弹性模量 /GPa	30	29
0°压缩强度 /MPa	136	148
0°压缩弹性模量 /GPa	29.2	28
90°压缩强度 /MPa	141	133
90°压缩弹性模量 /GPa	29.6	29
纵横剪切强度 /MPa	157	165
纵横剪切弹性模量 /GPa	1.38	1.39
玻璃化转变温度(T _g) /℃	135	135
滚筒剥离强度 /(N · mm) · mm ⁻¹ (上板)		61.8
(下板)		63.1

由表 3 可看出, 3233 EP/796 芳纶布层压板的各项性能都较高, 其 T_g 为 135℃, 作为 125℃固化的增韧 EP, 其耐热性较好。铝蜂窝夹层板具有较高的剥离强度, 该预浸料可直接与铝蜂窝结合制造夹层板, 能形成胶瘤, 不使用胶膜, 简化了在预浸料和蜂窝之间采用胶膜的复杂工艺, 实现了蜂窝夹层板的一次固化, 并有效地减轻了蜂窝夹层板的质量。

(2) 3233 EP/796 芳纶布层压板的湿热性能

芳纶容易吸水, 因此其复合材料的湿热性能比其它增强复合材料差。复合材料的湿热性能除与增强材料和树脂本身的湿热性能有关外, 还与它们之间界面的粘接强度和空隙率有关。选择耐湿热性能好的树脂和适合的成型工艺, 能避免因增强材料的吸湿而造成的性能下降。3233 EP/796 芳纶布层压板的水煮和湿热老化性能见表 4。

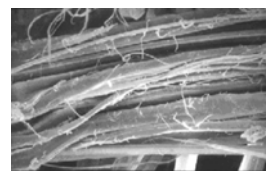
从表 4 可见, 经水煮和湿热老化后 3233 EP/796 芳纶布层压板的弯曲性能保持率较高, 对比相关报道, 其弯曲性能和层间剪切强度湿热保持率比某些碳纤维复合材料高一些^[4]。

表4 3233 EP/796 芳纶布层压板的水煮和湿热老化性能

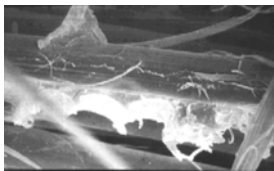
项目及测试条件	数据	保持率/%
弯曲强度 /MPa (室温) (水煮 48 h) (水煮 48 h/干燥) (湿热 1 000 h)	372	
	304	81.7
	369	99.2
	273	73.4
弯曲弹性模量 /GPa (室温) (水煮 48 h) (水煮 48 h/干燥) (湿热 1 000 h)	23.7	
	21.6	91.1
	23.2	97.9
	23.7	100
层间剪切强度 /MPa (室温) (水煮 48 h) (水煮 48 h/干燥) (湿热 1 000 h)	49	
	21.7	44.3
	33.8	68.9
	19.7	40.2

2.3 3233 EP/796 芳纶布层压板的断面形貌

对 3233 EP/796 芳纶布层压板的剪切破坏试样的断面进行 SEM 观察,照片见图 1。



(a)



(b)

a—放大 1 000 倍; b—放大 2 000 倍

图1 3233 EP/796 芳纶布层压板试样剪切断面 SEM 照片

从图 1 可看出,层压板试样剪切破坏横截面处的纤维弯曲并拉出很长。在这一点上芳纶纤维不同于碳纤维和玻璃纤维复合材料,碳纤维和玻璃纤维复合材料在试样剪切破坏横截面处纤维的断头较短,并且较直而整齐。因芳纶纤维本身的韧性好,所以破坏横断面处拔出的纤维长而弯曲。从图 1b 看出在纤维表面附着树脂,说明界面粘接性能较好。

2.4 3233 EP/796 芳纶布预浸料的应用

3233 EP/796 芳纶布预浸料是平纹布预浸料,并且预浸料厚度薄,可设计性强。该预浸料的物理性能、工艺性能和力学性能均满足设计要求,并且其

树脂基体具有较好的韧性和阻燃性。因此 3233 EP/796 芳纶布预浸料已应用于直升机的尾桨叶表层、发动机进气道、舱内的座椅(夹层板)和门等多个部件。图 2 为用其制备的直升机尾桨叶。制备时先把 3233 EP/796 芳纶布预浸料铺贴在桨叶的表层,按一定的工艺成型,即得到外观光滑的桨叶,它有良好的耐磨作用。3233 EP/796 芳纶布预浸料与泡沫塑料或蜂窝一起可制备夹层结构,制造舱内座椅和门,不需要胶膜,从而能减重,并且操作方便。

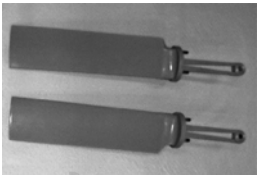


图2 直升机尾桨叶

3 结论

(1) 3233 EP 具有较好的常规性能,其耐热性和韧性良好。3233 EP/796 芳纶布预浸料的物理性能满足使用要求,工艺性良好。采用模压法和热压罐法成型的层压板性能相当。该预浸料夹层板的滚筒剥离强度高,可直接用于夹层结构,不需要胶膜。

(2) 3233 EP/796 芳纶布复合材料在湿热条件下的力学性能保持率较高,复合材料具有较好的耐湿热性能。

(3) 采用 SEM 对 3233 EP/796 芳纶布复合材料试样断面的观察表明,树脂与纤维粘接性良好。

(4) 3233 EP/796 芳纶布预浸料可用作制件的表面层或夹层结构,已应用于直升机次承力结构件。

参考文献

1 乌云其其格.中温固化阻燃环氧树脂/芳纶复合材料的研究.工程塑料应用,2003,31(11):5
2 舍颜娥,谭艳君.新型高性能纤维——芳纶.高科技纤维与应用,2004,29(4):37
3 陈祥宝.聚合物基复合材料手册.北京:化工工业出版社,2004.
4 刘东勋,魏刚.预浸方法和环境对 3234 树脂复合材料耐湿热性能的影响.见:陈祥宝.第十三届全国复合材料学术会议论文集.北京:航空工业出版社,2004.1 021

APPLICATION AND RESEARCH OF EPOXY RESIN/ARAMID FABRIC COMPOSITES

Wuyun Qiqige, Liao Zilong, Li Ming
(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

ABSTRACT The mechanical performances of 3233 epoxy resin/796 aramid fabric composite was studied. The results showed that the composite exhibited good general properties and heat-resisting properties. Mold formed and autoclave cured laminates showed equivalent performances, the sandwich structure laminates showed high peeling strength, the matrix resin showed good toughness, SEM observation revealed that the composite had high interface binding strength. The prepreg had been used in helicopter secondary structure.

KEYWORDS epoxy resin, aramid fabric, composite, performance, application