

树脂膜熔渗工艺用 FRP 模具的设计与制备

陈书华 刘 钧 曾竟成

(国防科技大学航天与材料工程学院,长沙 410073)

文 摘 通过模具材料的选择、分型和模具中加热装置的合理设计,制备出树脂膜熔渗工艺(RFI)实验用 FRP 模具。实验发现:自带加热系统可将模具和产品加热到 110 以上,模具可在 85 左右长期工作,并初步探索了 RFI 工艺参数,制备出了性能优异的板材。为制备大型 RFI 工艺用 FRP 模具提供了依据。

关键词 树脂膜熔渗工艺,FRP 模具,设计

Design and Manufacture of FRP Mould in RFI Experiment

Chen Shuhua Liu Jun Zeng Jingcheng

(Astronautics and Materials Engineering Institute, National University of Defence and Technology, Changsha 410073)

Abstract Though selection of mould materials and reasonable design of parting line and mould heating system, FRP mould is manufactured. The experiments demonstrate that the mould can be heated to 110 . Moreover, it can be used under 85 for a long time. The composite laminates and RFI fundamental experimental data are acquired, which would provide theoretical basis for manufacturing composite moulds of large size.

Key words Resin film infusion, FRP mould, Design

1 前言

树脂膜熔渗工艺(RFI)以其诸多优点在航空、航天领域得到了越来越广泛的应用^[1]。如国外已用 RFI 工艺制备出商业运输机的机翼结构和商业飞机的整流罩,国内用 RFI 工艺制备大尺寸构件还没见报道,仅局限于树脂膜的研究。目前,国防科技大学航天与材料工程学院对利用 RFI 工艺制备大型列车构件进行了可行性分析,研发了 RFI 用树脂膜,制备出了整体成型列车车顶的 FRP 模具,并在实际生产中取得了成功。

RFI 是一种低成本复合材料制备技术^[2]。目前,主要用于制造大中型且形状较简单的复合材料构件,如高速列车司机室及无人机整体机翼等,其构件的力学性能比手糊或真空袋压等工艺制备的显著提高,成

本却很低。本文通过材料的选择及模具中加热装置的合理设计,制得 FRP 模具,并用该模具制备出性能优异的板材。

2 模具选材、设计与制备

2.1 原材料

制备模具所用原材料详见表 1。

2.2 材料体系的确定

2.2.1 树脂体系

模具树脂体系的确定与 RFI 成型用树脂膜熔融、固化温度有关,对于手糊大型 FRP 模具,宜选择室温固化树脂体系,研究发现室温固化树脂体系制造的 FRP 模具,其几何稳定性、表面的热传导能力和热稳定性基本满足使用要求,可在 120 下长期使用,且不变形。材料体系选择路线见图 1。

收稿日期:2004-11-19;修回日期:2005-08-24

基金项目:国家 863 项目资助(2003AA333120)

作者简介:陈书华,1980 年出生,硕士研究生,主要从事先进聚合物基复合材料的研究

宇航材料工艺 2006 年 第 1 期

— 45 —

表 1 模具制备用原材料

Tab 1 Materials for making FRP mould

材 料 名 称	规 格	产 地
环氧树脂 E-51	环氧值 0.48~0.52	岳阳石油化工总厂环氧树脂厂
环氧树脂 E-44	环氧值 0.41~0.47,软化点 12~20	岳阳石油化工总厂环氧树脂厂
环氧树脂 CYD-011	环氧值 0.20~0.22,软化点 60~70	岳阳石油化工总厂环氧树脂厂
固化剂缩胺 105	室温胺类固化剂,黄色液体	长沙市化工研究所
固化剂 GA327	改性胺类,棕黑色液体	江苏宜兴市江南药用化工厂
TM-86 模具胶衣	乙烯基酯性高性能模具胶衣	常州天马集团有限公司
模具加热布	并联电阻丝,1.5 kW/m ² ,U 36 V	北京科拉斯化工技术有限公司
模具加热带	单丝串联,360 mm ×900 mm,220 V/800 W	上海上龙电气有限公司
表面毡	-	江西九江修水玻璃纤维厂
无碱玻璃纤维编织布	04方格布	江西九江修水玻璃纤维厂

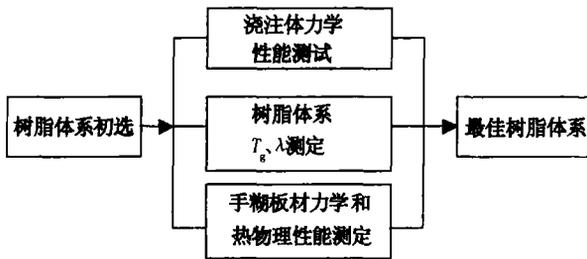


图 1 模具材质选择实验流程图

Fig 1 Flow chart of mold materials selection

模具树脂体系最佳配比(质量分数):环氧树脂 E-51 缩胺-105 = 100:40。RFI用 FRP 模具只承受 0.1 MPa 左右的应力,对材料力学性能要求不高。但对材质的热导率、线膨胀系数、玻璃化温度等有一定的要求,特别是模具材料的热变形温度要高于树脂膜固化温度 20 左右,并有长时间的耐温能力和冷热循环能力。模具材料的线膨胀系数要小,以保证产品的尺寸精度。所选 FRP 模具材料体系的物性参数见表 2。

表 2 FRP 模具材料树脂体系的物性参数

Tab 2 Physical parameters of FRP mold resin system

$T_g /$	$C_p / J \cdot (g \cdot K)^{-1}$	$/10^{-6} K^{-1}$	$/W \cdot (m \cdot K)^{-1}$
89.15	1.27	12.6	0.38(85, z向)

2.2.2 模具增强材料

增强材料一般是玻璃纤维编织布,其他还有碳纤维、芳纶纤维等,玻璃纤维的强度适中,能长时间耐温,成本低。很适合制备大型 FRP 模具,本文采用的玻璃纤维,其基本物性参数见表 3。

模具材料的部分力学性能见表 4。

表 3 玻璃纤维的基本物性参数

Tab 3 Basic physical parameters of glass fiber

密度	拉伸强度	弹性模量	最高使用温度	线胀系数	热导率
$/g \cdot cm^{-3}$	$/GPa$	$/GPa$	$/$	$/10^{-6} K^{-1}$	$/W \cdot (m \cdot K)^{-1}$
2.5~2.7	3.5~4.9	75~100	350	7.9~9	0.94~1.04

表 4 FRP 模具材料的力学性能

Tab 4 Mechanical properties of FRP mold materials system

材 料	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa
树脂体系(浇注体)	55.5	71.2
手糊板材(无碱 04方格布增强)	213	181

2.3 模具的设计

2.3.1 RFI及所用 FRP 模具的特点^[3]

RFI成型工艺^[2]是将树脂膜铺放在模具工作表面,在其上层铺放纤维编织布或其他纤维预制体,然后依照真空袋压成型工艺将模腔封装,启动加热系统,树脂膜熔融后,在真空负压下,熔融树脂由下向上被抽吸,从而浸透纤维预制体,得到复合材料构件。其所用模具的特点如下:

(1) 负压成型,成型模具刚度、强度要求低,成本较低;

(2) 树脂渗透纤维路径短,成型时间短;RFI将 RTM 树脂的横向流动变成了纵向(厚度方向)的流动,缩短了树脂流动浸渍纤维的路径,使纤维更容易被树脂所浸润;

(3) 独特的模具内加热系统和温控系统;

(4) 可整体制备大型复合材料构件。

2.3.2 模具的加热方式

电热布预埋在距模具型腔表面 2~3 mm 处,以

便热的传导。电热布载体中不锈钢加热元件(电热丝)对模具加热,电加热布伸展性达 35%,模具温度可以达到 100 ℃,升温速度较快。

加热布预埋操作规程为:待模具表面层和一定厚度的增强层固化后,适当打磨表面,铺放加热布,加热布决不能折叠使用,折叠点电阻过大而导致“热点”的产生,应覆盖整个需加热的模具面积,但法兰边上不必铺设。其原理图见图 2。

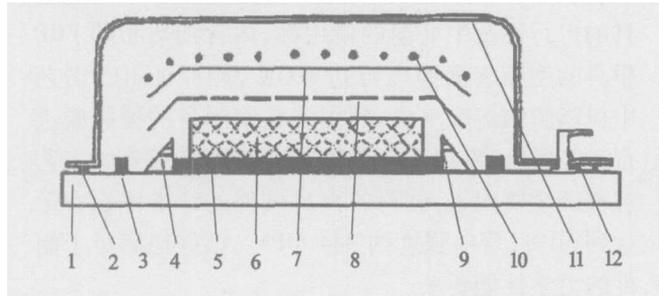


图 2 RFI工艺原理图

Fig 2 FRP principle chart

1底模;2密封胶;3隔胶栏;4溢料栏;5树脂膜;6预成型胚;
7吸胶布;8透胶布;9溢料口;10透气布;11真空袋;12真空阀。

2.3.3 FRP模具的设计与制备

为了确定大型 RFI用模具的基本设计参数,先设计一小型机翼型 FRP模具,该模具采用手糊工艺制备,由于手糊工艺的树脂含量多,孔隙率比较大,所以手糊时,要压紧铺层,尽量挤走气泡。为了使胶液能充分的浸润纤维,可适当加热胶液。若模具的孔隙比较多,会大大影响模具的传热和刚度,FRP模具制备工艺路线见图 3。

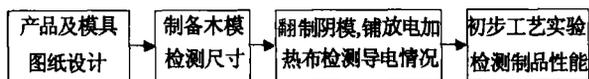


图 3 FRP模具制备工艺流程图

Fig 3 Flow chart of FRP mold manufacturing

本试验装置采用的电加热布的规格为:幅宽 35.6 cm,长为 90 cm,与上述模具的工作尺寸相同,加热布距离型腔表面 2 mm 左右,加热布固定后,应测试其导电性是否良好。把接线柱埋在法兰边,手糊固定。加热布的工作电压不超过 24 V。模具型腔为机翼形状,便于考察树脂对平板和竖直板的浸润情况。

RFI用 FRP模具中,加热布通过热传导把热量

传递给树脂膜,使其熔渗。通过预埋在产品各处的热电偶,可以检测不同时刻的温度。表 5 是 RFI模具的型腔表面温升试验参数。

RFI用 FRP模具一般采用热电偶来检测和控制温度。热电偶分布在模具型腔和加热布附近,随时调节加热系统状态。这样既可避免温度过高,模具材料发生大面积变形和烧焦等,又可防止温度过低,型腔表面的树脂受热时间比较长,树脂膜熔融熔渗困难。

表 5 含内加热装置的模具工作参数

Tab 5 Working parameter of in-heating mold

加热布 (19 V, 15.5 A)		加热带 (120 V, 3 A)	
时间 /min	温度 /	时间 /min	温度 /
0	22	0	22
35	44		
80	66	20	106
120	81		

3 RFI工艺实验及制品性能检测

3.1 RFI工艺实验

按 E-44 CYD-011 GA327=40 60 40(质量分数)混配出的树脂在室温下具有良好的成膜性,软化点高于室温,树脂的固化起始温度 70 ℃。该混配树脂膜体系符合 RFI工艺用树脂室温成膜及中温(70~80 ℃)固化的要求。通过刮膜法^[4]制备的树脂膜光滑平整,柔韧性较好,不粘手,而且厚度也能准确控制,满足 RFI工艺的要求。纤维预制体采用无碱 04 方格布整齐铺叠后,用纤维单丝简单缝合。工艺流程见图 4。

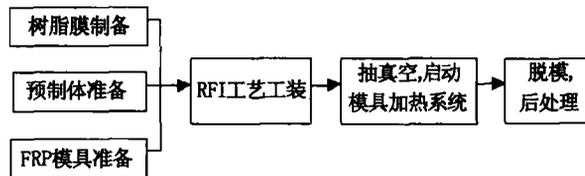


图 4 RFI工艺实验流程图

Fig 4 Flow chart of RFI process experiment

3.2 制品性能

通过正交实验考察熔渗温度、熔渗时间、真空负压、树脂膜种类^[5]对 RFI工艺的影响,得出真空负压、树脂膜种类是影响工艺过程的主要因素。真空负压对纤维含量的影响见表 6。图 5 是 RFI工艺成

型试件的扫描电镜照片。

表 6 不同真空负压下的纤维含量与制件力学性能

Tab 6 Fiber content and mechanics under different vacuum

真空负压 /MPa	纤维体积分数 /%	纤维质量分数 /%	弯曲强度 /MPa
0.08	45.3	60.1	194
0.09	48.2	66.5	230
0.1	50.1	70.3	344

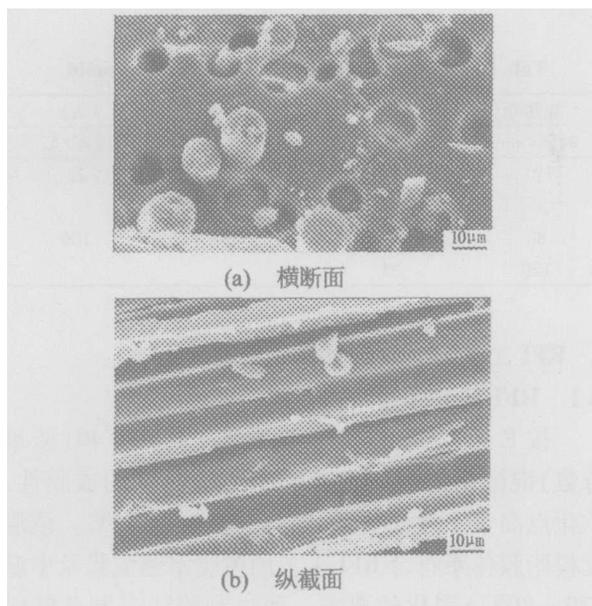


图 5 复合材料拉伸断口形貌

Fig 5 SEM photograph of composite tensile break

由图 5 可见,裂面为平断口,在环氧树脂相对密

集的区域,可以看到,基体呈脆性断裂时的“河流”花样,并可看到纤维拔出后在基体处留下的空洞,纤维与基体的界面结合比较好,没有明显的脱粘现象。

4 结论

实验得到的 FRP 模具基体树脂体系为环氧树脂 E-51 缩胺-105=100:40,该体系室温固化,玻璃化温度 89;模具增强材料选用中碱 04 玻璃纤维编织布,这样很好的满足了室温制备大型 FRP 模具的可行性及中低温的使用性,内含加热布的 FRP 模具的型腔表面温度可达 100,能保证 RFI 工艺中树脂膜的熔融浸渗,利用实验室制备的树脂膜进行工艺实验,发现真空负压、树脂膜种类是影响工艺过程的主要因素,制得的板材试件的纤维体积含量达到 50%,弯曲强度约 344 MPa,很好地满足了制件的力学性能要求。

参考文献

- 1 王东,梁国正. 树脂膜熔渗工艺 (RFI) 的研究现状. 纤维复合材料, 2000; (3): 9
- 2 Knusche T, Michaeli W. Resin infusion technology for the autoclave process. Int SAMPE Symp. & Exhibition, 1996; 41 (2): 1 542 ~ 1 550
- 3 晏石林. 树脂膜熔渗工艺及其数值分析方法. 玻璃钢 / 复合材料, 2004; (2): 33 ~ 35, 48
- 4 鞠苏. RFI 工艺用树脂膜的研究. 国防科学技术大学学位论文, 2004
- 5 陈书华. RFI 用 FRP 模具设计及工艺研究. 国防科技大学硕士学位论文, 2005

(编辑 吴坚)

高强度塑料木铸模

本成果发明的高强度塑料木是采用丁腈-26 橡胶和热塑性酚醛树脂、六次甲基四胺、硫磺粉、偶氮二异丁腈、氧化锌、硬脂酸、促进剂 DM 等组分经适当配比和压制的板材。密度严格控制在 0.8 ~ 0.85 g/cm³ 的范围内。模具结构中采用承压垫块来控制压制后的高强度塑料木的厚度。

本塑料木有优良尺寸保护性和环境适应性,其加工性与木材相仿。它具有较高的强度和硬度,可以制造形状复杂、壁薄、尺寸精度要求高的铝、镁合金铸件砂型铸模。

(沈阳松陵机械公司,沈阳 110034)

·李连清·