

BMP316 树脂基预浸料的吸胶工艺控制

Bleeding Process Control of BMP316 Resin Prepreg

中航复合材料有限责任公司 曹霞 蒋蔚 程文礼
中航工业基础技术研究院复材中心 纪斌逸 陈静

[摘要] 对碳纤维/BMP316的吸胶工艺进行试验分析,分别从预制件出胶量、层压板缺陷和成型后力学性能等几个方面进行研究,得出了碳纤维/BMP316的吸胶工艺规范。同时发现不同的吸胶工艺影响预制件出胶量,直接影响成型后制件的内部质量;而且吸胶工艺选择不当会造成制件的孔隙率高,孔隙率在在一定程度上降低了材料的力学性能。

关键词: 聚酰亚胺 吸胶 复合材料

[ABSTRACT] The bleeding technology of CF/BMP316 is studied in this paper. The rule of CF/BMP316 bleeding process is shown, which is based on analysis of bleeding constant, the disfigurement and mechanical properties of composites. Different bleeding processes could affect bleeding constant and part quality. An unsuitable process of bleeding may result in higher porosity of composites, which may reduce the mechanical properties.

Keywords: Thermalimide Bleeding Composite

热压罐成型工艺是通过吸胶工艺来控制含胶量的。吸胶工艺的制定在复合材料成型过程中是一个相当重要的环节,由于湿法预浸料树脂含量不易准确控制,其内部含有少量挥发性溶剂,成型时必须将多余的树脂及挥发分排掉^[1]。这个过程与预浸料的物理化学特性有直接关系。已经有大量的研究^[2-4]表明通过预浸料工艺性的控制可以对纤维分布、固化变形、孔隙缺陷形成等方面进行有效调节。这种控制主要从吸胶温度和吸胶材料两方面进行。吸胶材料是复合材料成型工艺用的一种辅助材料,早期国内采用进口吸胶材料。近几年国内厂家已经有了相应的替代产品,而且工艺已经成熟,吸胶控制比较稳定。

热固性复合材料的热压罐法制造过程中,叠层块中基体树脂的粘度随温度的升高而变化。为了降低分子挥发

物和铺贴时夹杂在层间的气体排出,必须选择合适的吸胶温度。本文在固定吸胶材料的前提下,研究碳纤维/BMP316的吸胶工艺,通过试验分析,找到其合适的吸胶工艺规范。

1 复合材料的制备和吸胶工艺的制定

1.1 试验材料

碳纤维/BMP316聚酰亚胺树脂,由北京航空制造工程研究所生产,储存期为1个月;吸胶毡为美国AIRTECH产品。

1.2 BMP316树脂的流变特性

流变特性是确定预浸料吸胶、固化工艺的重要依据。一般在等速升温 and 恒温状态下测试树脂粘度的变化情况,并依此绘出粘度-温度图谱。测试树脂BMP316的粘温曲线见图1,各阶段温度、粘度见表1。

1.3 预浸料吸胶工艺试验

采用湿法排布机制造碳纤维/BMP316单向预浸料。预浸料树脂含量为36.7%;挥发分含量小于2%;碳纤维单位面积用量为133g/m²;固化后单层布厚度为(0.125±0.004)mm。

铺叠预浸料叠层块,铺层方向为[45/0/90/-45]4s,尺寸为100mm×100mm,4块。

根据树脂的粘温曲线,选择树脂粘度较低还未发生

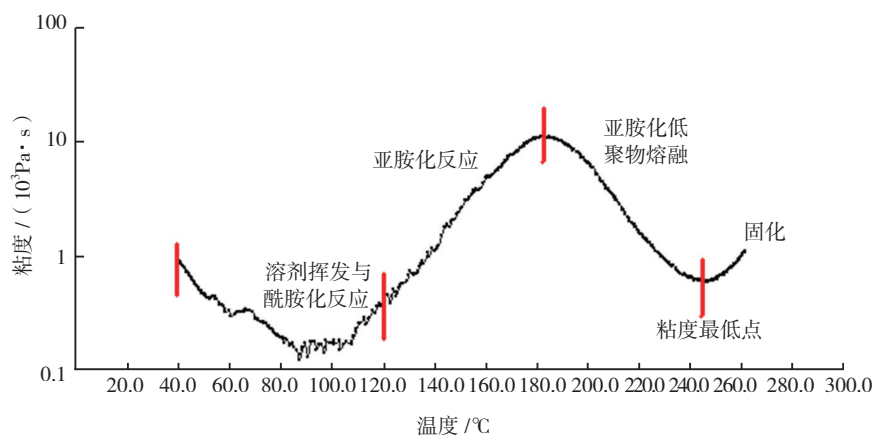


图1 聚酰亚胺树脂的粘温曲线

Fig.1 Viscosity-temperature curve of thermalimide resin

表1 树脂BMP316在各阶段的温度和粘度值

阶段	温度 /℃	粘度 / (Pa·s)	挥发分质量分数 /%
溶剂挥发与酰胺化反应	40~130	1~100	85
亚胺化反应	120~250	100~25000	15
亚胺化低聚物熔融	180~250	~ (300~5000)	<3
固化	270~350		<3

酰胺化反应时的温度,分别选择以下5种工艺规范来研究(RT为温室):

- 吸胶工艺 1: RT → 80℃ (保温 1h) → 60℃ ;
 吸胶工艺 2: RT → 90℃ (保温 1h) → 60℃ ;
 吸胶工艺 3: RT → 100℃ (保温 1h) → 60℃ ;
 吸胶工艺 4: RT → 110℃ (保温 1h) → 60℃ ;
 吸胶工艺 5: RT → 120℃ (保温 1h) → 60℃ ;
 升降温速率 ≤ 2℃ /min,封装方法见图 2。

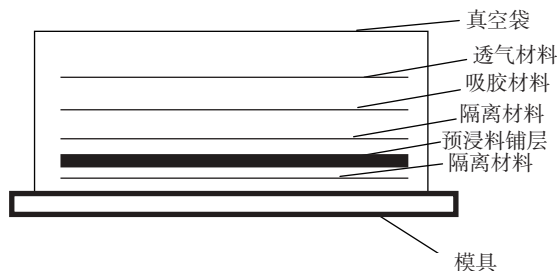


图2 吸胶工艺封装示意图

Fig.2 Packaging sketch map of bleeding process

2 结果与分析

2.1 预制件的出胶量

预浸料的树脂含量已经控制在一定范围内,在固化过程中纤维的重量(G_f)无损失,排出的是挥发分和树脂。通过计算可知应挤出的树脂量。设应挤出的树脂量为 ΔG_e ,预浸料叠层块树脂量为 G_{e_0} ,固化后制品中树脂量为 G_{e_1} ,那么应有:

$$\Delta G_e = G_{e_0} - G_{e_1} = G_f \left(\frac{R_0}{1 - R_0} - \frac{R_1}{1 - R_1} \right), \quad (1)$$

式中, R_0 为预浸料树脂含量; R_1 为固化后复合材料制品树脂含量; G_f 为复合材料制品中的纤维含量。

$$G_f = \sum_{i=1}^n D_i F_i, \quad (2)$$

式中, D_i 为第*i*层预浸料纤维密度; F_i 为第*i*层预浸料纤维面积; n 为铺叠层数。

该预制件 $D_i=133\text{g/m}^2$, $F_i = 0.01\text{m}^2$, $n=32$,计算得 $G_f = 42.56\text{g}$ 。

在5种工艺下吸胶后的预制件含胶量见表2。

由表2可知,吸胶温度必须在一定区间,温度低时

表2 5种工艺下吸胶后的预制件含胶量

吸胶工艺	出胶量 /g	制件树脂含量 /%
工艺 1	1.8	35
工艺 2	7.2	29
工艺 3	6.4	30
工艺 4	4.6	32
工艺 5	2.8	34

树脂流动性较差,多余树脂不易流出。同时树脂反应不完全,挥发分没有彻底排出。另一方面,吸胶温度开始太高,树脂还没有充分流动,就完成了酰胺化反应,也不利于树脂吸出。吸胶温度控制在90~110℃之间时,预制件出胶量合适。

2.2 层压板的缺陷

树脂含胶量是指复合材料中树脂体积或质量所占的百分比;贫胶是指复合材料制件中局部树脂较制件平均树脂含量低出较多的区域;富脂是指复合材料制件中局部树脂较制件平均树脂含量高出较多的区域。为了研究吸胶工艺对层压板缺陷的影响,分别对5种工艺条件的预制件采用同一固化工艺成型,之后对复合材料层压板进行无损检测,计算孔隙率,结果见表3。

表3 5种工艺下成型后复合材料层压板的孔隙率

吸胶工艺	孔隙率 /%	无损检测结果
工艺 1	3	富脂
工艺 2	2.2	合格
工艺 3	2.0	合格
工艺 4	1.6	合格
工艺 5	3.5	富脂

由表3可知,无损检测结果与2.1节中给出的结论一致,工艺1和工艺5出胶量较低,无损检测结果表明有富脂现象。从孔隙率结果看,采用工艺4时孔隙率最低。这是因为预制件在吸胶过程中,只有在温度相当合适的时候才能完成酰胺化反应,并将溶剂和挥发分完全排出。观察固化后复合材料层压板的金相照片,见图3。经过吸胶工艺4处理过的预制件固化后的层压板孔隙最少。因此,初步认定110℃是最佳吸胶温度。

2.3 层压板的力学性能

前文分析了吸胶工艺对层压板质量的影响,为了进一步研究吸胶工艺变化对层压板力学性能的影响,将各工艺下制备的层压板进行力学性能测试,测试温度为280℃,结果列见表4。

表4结果表明,由工艺4制得的层压板剪切强度和弯曲强度较高,而其他工艺条件下制得的层压板性能较低。这表明大孔隙率在一定程度上降低了材料的性能,

(下转第67页)

用。TORFIBERMAN 制造模块在 CATProcess 中生成所有的铺放程序信息,如果有需要,编程人员还可以在这些程序信息中进行某些参数的修改,如铺丝顺序、铺丝方向等。所有编程工作完成之后,编程人员可将所有 CATProcess 的程序信息通过后置处理器生成 NC 程序文件。

除 TORFIBER 软件系统外,MTorres 公司还为客户开发了一套模拟系统,此模拟系统也集成在 DELMIA V5 系统中,并且和 VERICUT 复合材料铺放模拟模块一样,可读取 CAD 数据模型和 NC 程序,并利用一个虚拟的机床环境对这些程序进行仿真模拟,以检查在铺放过程中是否会发生碰撞,同时还可协助编程人员修改可能存在的程序错误,以避免碰撞事故或零件损坏情况的发生。

4 结论与建议

通过上文对各种编程软件系统的介绍和比较可以发现,现有的复合材料自动铺放编程软件系统的工作原理和工作方式基本相同,软件系统必须具备基于 CAD 数据模型的零件编程分析模块、机床仿真模拟模块和最终转换成机床语言的后置处理模块,以满足设计语言向机床语言进行有效精确转换的需要;各编程软件系统的区别仅存在于数据输入输出的兼容性和操作环境的独立性方面。随着复合材料自动铺放技术在航空航天领域的普及,材料工艺和装备技术的发展对相关配套软件提出了更高的要求,将来的编程软件应该能更好地协助用户改善制造过程的可控制性、减少材料浪费、降低生产成本以及提高产品质量及复合材料构件的生产效率,这就要求软件本身应具备更为良好的兼容性和可操作性。

目前我国航空领域的复合材料构件的设计工作主要采用 CATIA V5 和 FIBERSIM 软件系统,因此复合材料自动铺放编程软件系统除具有基本的编程分析、仿真模拟和后置处理功能之外,应具有较高的独立性和适应性,以满足不同用户使用不同机床或 CAD 设计软件的要求。此外由于我国在复合材料自动铺放领域起步较晚,虽然广大技术人员已经进行了很多研究开发工作,也已经取得了一定的成果,但是目前国内尚没有成熟的商用复合材料自动铺放编程软件系统。希望相关部门能提高对软件开发事业的重视并加大投入,尽快缩小和国外公司的差距,开发出适合我国复合材料自动铺放领域需要的软件系统。

参考文献

[1] Hasenjaeger B. Programming and simulating automated fiber placement (AFP) CNC machines. California: AeroDef Manufacturing, 2011.

(责编 小城)

(上接第 63 页)

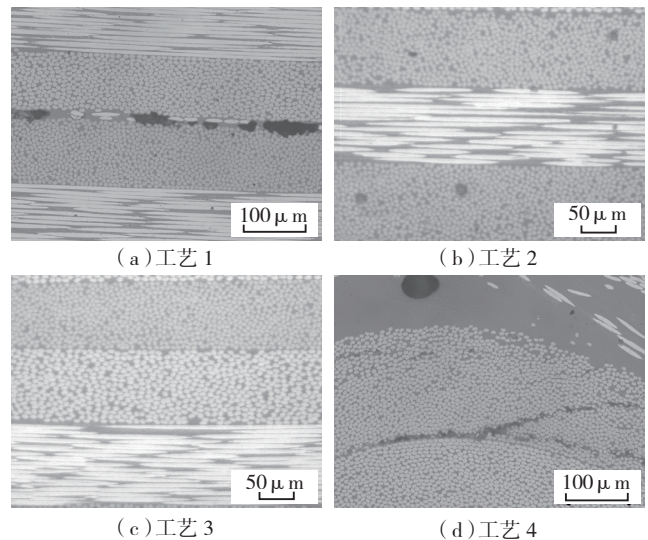


图3 固化后复合材料层压板的金相照片

Fig.3 Metallograph of composite laminate after curing

表4 不同吸胶工艺条件下层压板的力学性能测试结果

吸胶工艺	剪切强度 /MPa	弯曲强度 /MPa
工艺 1	57.38	1158
工艺 2	60.21	1263
工艺 3	60.70	1288
工艺 4	61.33	1312
工艺 5	56.65	1127

其根本原因在于复合材料层压板的树脂含量不合适。因此,该树脂复合材料的吸胶工艺优选为工艺 4: RT → 110℃ (保温 1h) → 60℃。

3 结论

(1) 吸胶工艺不同,预制件出胶量相差较大,直接影响成型后制件的内部质量;

(2) 吸胶工艺不同,成型后层板的孔隙含量不同,大孔隙率在一定程度上降低了材料的力学性能;

(3) 以上分析结果表明,碳纤维/BMP316 吸胶工艺规范为: RT → 110℃ (保温 1h) → 60℃,升降温速率 ≤ 2℃/min。

参考文献

[1] 梁奕珠,谢向莉,韩立军,等. 叠层成型用吸胶材料吸树脂量分析. 玻璃钢/复合材料, 1997(4):15-20.

[2] 杨进军,曹正华. 基于图像处理技术的复合材料纤维密实状态表征. 纤维复合材料, 2009(4):32-37.

[3] 李敏,张宝艳. 不对称铺层复合材料变形规律的试验研究. 玻璃钢/复合材料, 2006(5):28-31.

[4] 孙凯,李敏,顾轶卓,等. 热压罐零吸胶工艺树脂压力在线测试及其变化规律. 复合材料学报, 2010, 29(4):94-99. (责编 亿霖)