

某型飞机隔音复合材料内装饰成型工艺研究

Research on the Interior Decorate Forming Technology of Soundproof Composite for an Aircraft

中国人民解放军驻西飞军事代表室 王永红 郭敏骁 林 星

[摘要] 通过分析隔音复合材料内装饰结构的特点,从原材料、成型工艺、工装制造、蜂窝芯下陷铣切、装饰层包敷、组件装配等各工艺环节提出了该内装饰制造的难点和关键技术,并针对各难点和关键技术进行了工艺试验的分析,提出了相应的工艺解决措施和内装饰零件的制造工艺流程。

关键词: 隔音内装饰 成型工艺 变形

[ABSTRACT] Through analyzing the structure features of interior decorate from soundproof composite was analysed in this article, the difficult points and key technologies of interior decorate machining are suggested from the processing links such as raw material, forming process, tooling, depressed milling of honeycomb core, cladding decorate layer and the parts assembly. Furthermore, the corresponding solution and the typical machining process of interior decorate parts are given after the analysis of technological test.

Keywords: Soundproof interior decorate Forming process Deformation

为保证飞机上的工作人员有一个舒适、安静的工作环境,某型飞机内装饰全部采用了先进的隔音复合材料制造。在材料选择、零件结构及尺寸、安装方法等方面有较大的改进和提高,许多材料和安装结构在内装饰成型领域均为首次使用。由于零件尺寸较大,设计铺层不对称,加之复合材料本身的收缩特性,零件成型后会产生不同程度的变形,装配后板件之间会出现阶差,严重影响内装饰的整体效果。为了保证隔音复合材料内装饰零件的制造及装配质量,满足设计的最终装饰效果,对隔音复合材料内装饰零件变形控制制造工艺进行了系统的研究和试验。此工艺的研究对提高大尺寸、平板型复合材料零件,特别是内装饰零件的加工水平具有重要的意义。

1 零件结构及材料

隔音舱内装饰由天花板、侧壁板、踏板等 80 多种复合材料组成,大部分为蜂窝夹层结构。蜂窝芯边长为

3.5mm,高度为 25mm,材料为 NOMEX 蜂窝芯,面层采用 120 型和 1581 型的环氧预浸布。隔音材料首次采用新型的无碱超细棉和隔音毡,装饰材料也首次采用了软包型的装饰结构。零件按结构特点主要分为 2 类,在飞机的前设备舱 14~24 框之间为单曲面板型,其余部位由平板型零件组成,典型零件的结构如图 1 所示。

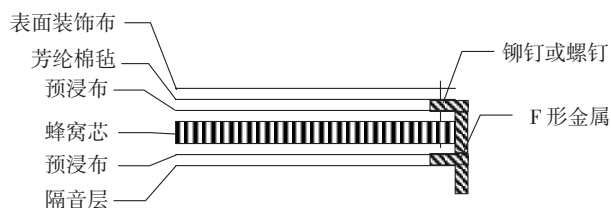


图1 内装饰复材零件的典型结构图

Fig.1 Typical structure of composite interior decorate parts

2 内装饰制造的关键技术及制造难点

内装饰零件制造最终的质量取决于各零件装配的协调性及装配后整体效果的美观性。该机内装饰零件制造中有如下关键技术和难点:

- (1) 新型装饰层和隔音层材料与夹层复合材料板件的包敷工艺;
- (2) 复合材料零件成型工装结构设计及制造技术研究;
- (3) 蜂窝芯下陷铣切工艺及零件周边的下陷控制工艺;
- (4) 零件成型工艺固化参数制定;
- (5) 夹层复合材料板件边缘槽型材的铆接工艺技术;
- (6) 零件在飞机上的装配及零件间相互装配的协调。

3 主要工艺试验及攻关

3.1 防止零件变形的工艺试验

影响夹层结构零件变形的主要因素之一是面层的铺层设计。由于设计的需要,在内装饰壁板的设计中,上下面层的铺层不对称,一面有 4 层预浸料,另一面有 3 层预浸料,在零件固化后势必会产生变形。为了减少

变形,进行了以下工艺对比试验,对比试验件的铺层结构如表1所示。

表1 内装饰壁板面层试验件典型铺层设计

铺层编号	铺层方向 / (°)	铺层编号	铺层方向 / (°)
1-1	0	2-1	0
1-2	45	2-2	45
1-3	90	2-3	90
1-4	-45		

在某型飞机内装饰零件中选择了2块尺寸最大的零件进行试验,在铺贴时一块试板的4层面层放在靠工装面进行铺贴固化,另一试板的4层面层放在靠袋面进行铺贴固化,结果4层面层靠袋面的试板最大变形为5.6mm,而4层面层靠工装面的试板变形量接近10mm。根据试验结果,在制板时将有4层面层的部分放在靠袋面进行铺贴,可减少零件的变形。

3.2 复材成型工装结构设计及制造技术

由于工装材料的热膨胀系数与复合材料的热膨胀系数差别较大,使零件成型后内部存在内应力产生变形。对于尺寸较大的零件来说,变形尤为严重,无法满足零件公差要求,因此,必须选择复合材料工装来成型零件,使固化中的热膨胀系数差别得以消除,保证零件的制造质量。工装材料选用了新型的复合材料工装预浸料 LTM16/GF0300T 和 LTM16/GF0700T。制作复合材料的过渡工装选用了性能良好的可加工塑料 TB620。经过试验件及批生产的检验,满足了零件制造的要求,也为复合材料工装的制造积累了丰富的经验。

3.3 NOMEX 蜂窝芯的拼接工艺试验

由于内装饰零件的尺寸较大,而蜂窝芯尺寸只有 2.4m × 1.2m,这就需要进行蜂窝芯的拼接。拼接的基本要求是蜂窝芯拼接处胶膜均匀、芯格规整且方向一致。为了保证芯子的拼接质量,采取了如下的拼接工艺:

- (1) 将芯子需要拼接的截面修整齐平;
- (2) 将芯子用压缩空气吹干净并将拼接的表面用丙酮清洗干净;
- (3) 在芯子的拼接面贴上带状泡沫胶,由于泡沫胶在固化过程中会流动,所以泡沫胶的宽度应小于芯子的高度,铺贴时上下表面均低于芯子表面 1mm,这样固化后溢出的胶瘤就填充了接缝处的空隙,保证了拼接后芯子表面的齐平;
- (4) 由于芯子的拼接固化无法制袋,芯子的稳定定位就非常必要,需要在芯子的接缝处采用定位开口销来保证拼接面的稳定接触,同时在拼接芯子的表面压上砂袋;
- (5) 拼接好的芯子在热压罐或烘箱中进行固化。

3.4 蜂窝芯下陷铣切工艺及零件周边的下陷控制工艺

要想使壁板的下陷质量符合设计的要求,必须保证蜂窝芯的下陷铣切质量。

首先,改造蜂窝芯的铣切装置。在铣切时用双面胶带将蜂窝芯粘贴在铣切样板上,并一同置于铣切台面上,在芯子表面压上砂袋,将铣切刀具调到适当高度,以均匀的速度推动铣刀向前铣切芯子,在铣切的过程中要始终保证蜂窝芯表面与铣切台面平行。为了保证最后的装配需要,铣切深度放在公差的上限,芯子下陷铣切宽度为 50mm,比零件要求的宽 30mm,以保证固化后边缘铣切的质量。

其次,在零件固化过程中要采取必要的工艺措施,由于内装饰的零件周边都装有 F 形槽型材,为了装饰的美观,型材的表面设计为与壁板表面齐平,所以壁板零件的周边在固化过程中就带有深 2mm,宽 30mm 的下陷,这样就给壁板的制造带来一定的难度。为了保证下陷尺寸的准确性,采取了如下工艺措施:用宽 50mm,厚度与下陷相同的铝板条带,在铺贴制袋时将铝条置于下陷部位,并用胶带固定,防止其跑位,然后在零件整个制袋面铺放一整张铝板作为匀压板,这样既保证了零件的表面质量,也保证了边缘下陷尺寸的准确;零件固化后按样板上的边缘线和下陷位置线铣切边缘。下陷在固化过程中的控制如图 2 所示。

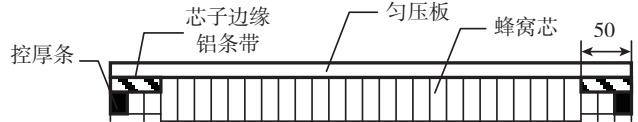


图2 下陷条带铺放示意图 (未示出预浸料)
Fig 2 Layout for depressed strap

3.5 零件成型工艺及固化参数的制定

3.5.1 壁板制造工艺流程

根据内装饰零件的结构和复合材料制造工艺的特点,制定内装饰零件的制造工艺流程,如图 3 所示。

3.5.2 预浸料及蜂窝芯的铺贴图

内装饰零件对板件的要求是平整不变形,上下表面光滑流线,而且面板和芯子要保证足够的粘接强度。铺层是保证板件成形质量,特别是防止板件变形的重要环节。首先在铺贴前必须对 NOMEX 蜂窝芯进行处理,使其有利于胶接,具体处理方法如下:

- (1) 用真空或已干燥过的压缩空气吹掉芯子上的可见灰尘,然后用丙酮清洗蜂窝芯表面;
- (2) 铺贴前对设计要求的蜂窝芯灌封区域提前进行灌封,在操作时将灌封区域的周边用纸胶带进行保护,以免灌封区域过大,造成壁板的质量超重;

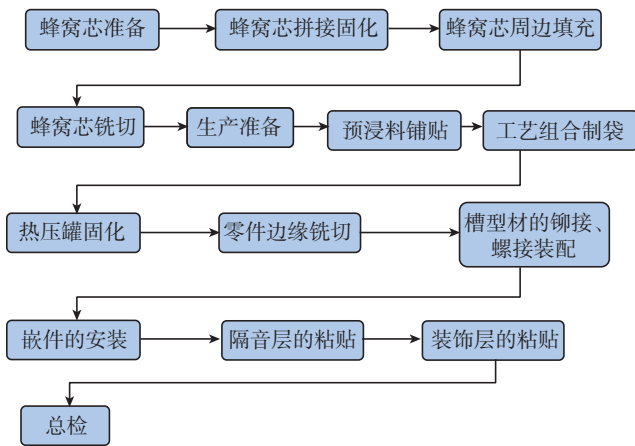


图3 典型内装饰壁板制造工艺流程图
Fig.3 Typical process flow of interior plane

(3)要严格控制预浸料铺层的角度公差,在铺贴时按照设计要求的铺层方向进行铺贴,铺贴角度公差控制在 $\pm 3^\circ$,预浸料之间以及预浸料与蜂窝芯之间要擀平压实。根据铺层试验的结果,在铺贴制板时将具有3层预浸料的铺层面放置在靠工装面进行铺贴,有4层预浸料的一面放在靠袋面进行铺贴,较好地消除板件成型后的变形。

3.5.3 壁板制袋工艺组合

制袋是热压罐固化复合材料工艺的重要步骤,制袋的关键是针对零件的特点制定相应的铺层设计。由于设计中面层与蜂窝芯之间没有胶膜,为了保证胶接强度和面板的含胶量,选用了无孔隔离膜。在靠袋面铺放平整的铝板作为匀压板,保证了靠袋面的光滑平整;在板件边缘的下陷区放置铝压条,保证了下陷外形和尺寸的准确。具体的制袋设计如图4所示。

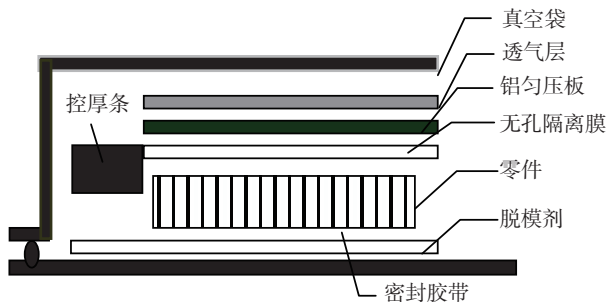


图4 零件制袋典型工艺组合
Fig4 Typical assembly process of part bagging

3.5.4 壁板固化工艺参数制定

零件的固化是复合材料制造中的一个重要环节,特别是固化工艺参数的制定,直接影响到零件的质量,特别是零件的变形。根据零件的结构特点和最终的质量

要求,结合工艺试板试验固化的工艺数据,制定了升温速率、固化压力、固化温度、保温时间、降温速率、卸压出罐温度、卸模温度等参数。在固化时要求对真空袋施加至少 (0.080 ± 0.002) MPa的真空压力,同时加罐压,当罐压加至0.1MPa时,真空通大气。

3.6 壁板与型材的铆接工艺

由于夹层结构复合材料特性,与金属型材的铆接不同于一般的金属材料之间的铆接,对铆接材料之间的间隙、孔的质量、铆接方法等有着特殊的要求。为了使铆接质量达到设计的要求,采取了如下措施:

(1)壁板零件的垂直度直接影响到内装饰的整体装配效果,根据装配的特点使用了铆接定位装配夹具。在铆接前将复材壁板和槽型材按图纸要求在夹具内协调好,并用夹紧装置进行紧固,然后再开始钻孔铆接,这样不但提高了铆接质量,而且保证了槽型材铆接后零件外廓边缘的垂直度和零件周边外形的准确度。

(2)在钻孔时,严格控制孔的垂直度和孔径的大小在设计要求的范围内。

(3)在开始铆接试验时,发现铆接过程中铆钉容易弯曲,影响铆接质量。经过分析,主要是由于铆钉孔内没有衬套,而复合材料的刚性不足以支撑铆接时的侧向压力所致。经与设计人员协商后,在铆钉孔内增加了金属衬套,大大地提高了铆接质量。

(4)因制造误差造成的板件和F形型材之间的间隙,装配铆接时在间隙之间加装工艺垫片进行补偿,保证了铆接的质量。

3.7 内装饰壁板边缘金属型材的协调装配和零件的预装配工艺

内装饰壁板的边缘全部包有金属型材,零件最终的周边尺寸和外形是由装配后的型材决定的,所以在装配型材时,零件之间的协调就非常重要。有装配关系的壁板边缘的型材,在装配时将具有装配关系的部分进行互相协调,使它们之间的尺寸和型面保持一致,避免了装配后型材表面阶差的产生;为了保证内装饰最后的整体效果,在包敷装饰层前,将零件在飞机上进行了预装配,特别是对许多壁板上的开孔,由于飞机制造的误差,按理论尺寸往往误差很大,现场开孔加工很好地保证了零件制造和装配的质量,避免了许多返工,使许多不合理的设计和制造缺陷及时发现并完善;根据预装配结果及时地完善了设计更改和工艺文件,这样零件的制造质量完全满足了装配的需要,达到了预期的效果。

3.8 装饰层和隔音层包敷工艺

内装饰采用的是软包型的装饰层,需要现场涂胶粘贴。内装饰隔音层和蜂窝板采用尼龙搭扣进行连接,

(下转第88页)

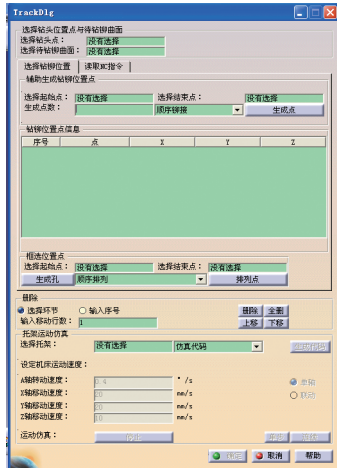


图7 四轴自动钻铆定位系统操作界面

Fig.7 Operating interface of four-axis automatic riveting allocation system

中部件之间的干涉,进而优化加工路径,提高设备的利用率。

自动钻铆仿真系统为工艺人员设计工装提供设计依据。以单曲度铆接壁板为例,由于壁板自身占用一定的行程,加工其边缘铆钉也需要Z向行程,然而受喉深(C形架深度)、托架Z向行程以及托架的旋转角度等因素的限制,如果工装设计不当,将会导致多次装夹,甚至发生不能够加工的状况。为达到一次装夹,即可加工整个壁板,工装的高度以及工件的安装位置需要满足一定的条件,工艺人员可以借助仿真系统确定加工壁板边缘铆钉需要的Z向行程以及旋转角度,进而合理地摆放工件,提高加工效率。

5 结论

随着虚拟现实技术的不断发展,加工仿真被越来越广泛地运用到航空航天制造等领域,一些从事自动钻铆技术研究及应用的企业和科研院所也在积极探索自动钻铆中干涉仿真技术的实现方法。但由于该技术处于起步阶段,国内可借鉴的资料和经验较少,同时国外专业从事钻铆仿真技术研究的企业也不多,并且对技术封锁非常严密,可利用的技术资源也十分有限。因此,本文对基于CATIA平台上自动钻铆中干涉检测技术进行研究,并成功应用于自主开发的自动钻铆仿真系统,得出以下研究成果:

(1)本课题克服种种技术难题,摸索出一套基于VC语言的CATIA仿真模块二次开发新方法,有效解决了目前国内广泛使用的基于VB语言开发方法所不可避免的兼容性差、运行不稳定、功能模块开发受限等问题。

(2)本课题基于多种干涉理论与开发方法,在CATIA仿真模块中实现了多种干涉检测方法,改变了

CATIA中干涉检测实现方法单一的现状。

(3)本课题是与某航空制造企业合作的横向课题,在实际加工前的仿真模拟中实现了干涉检测,提前发现可能存在的问题,及时解决,为企业提高了生产效率,节约了劳动成本。

(4)本课题将虚拟仿真技术与自动钻铆加工紧密融合,并成功应用于大型壁板件的钻铆加工,为后续更为复杂的钻铆仿真技术垫底了一定的基础。

参考文献

- [1] 李少波,陈翔鹏.自动钻铆技术的应用和无头铆钉安装.航空制造技术,2007(9):50-52.
- [2] 卜泳,许国康,肖庆东.飞机结构件的自动化精密制孔技术.航空制造技术,2007(24):61-64.
- [3] 王仲奇,殷俊清,康永刚.飞机自动钻铆仿真技术.航空制造技术,2008(20):44-47.
- [4] 纪玉坤,曹利新.基于UG的五轴数控机床加工仿真.计算机仿真,2006,23(5):215-218.
- [5] 余斌,刘荣忠.基于OpenGL的数控加工仿真系统研究.四川大学学报:工程科学版,2001,33(4):16-19.
- [6] 冯潼能,王黎明,初爱国.基于CATIA V5的自动钻铆机工艺过程仿真.航空制造技术,2009(21):45-47.
- [7] 胡挺,吴立军.CATIA二次开发技术基础.北京:电子工业出版社,2006.
- [8] 董伊鑫,席平.基于CATIA二次开发的五坐标数控机床自动仿真系统.机械工程师,2005(3):41-43.
- [9] 何朝良,杜廷娜,张超.基于CAA的CATIA二次开发初探.自动化技术与应用,2006,25(9):37-40.
- [10] 黄娟,顾寄南.装配仿真中碰撞干涉检查研究的综述.江苏大学学报,2002,23(2):17-21.
- [11] Moore M, Wilhelms J. Collision detection and response for computer animation. Computer Graphics, 1988, 22(4):289-298.
- [12] 曾柳杨,刘毅.基于CATIA/CAA的虚拟装配约束关系分析与干涉检查研究[D].南京:南京航空航天大学,2005.

(责编 夏宛)

(上接第83页)

尼龙搭扣一边缝纫在隔音层上,另一边用胶粘剂粘贴在蜂窝板背面,这种连接形式既有利于操作,也便于飞机隔音层的维护和更换。

4 结束语

经过详细的工艺审查使内装饰的设计具有良好的工艺可行性,在零件生产前进行了多次的工艺试验和分析研究,明确了内装饰制造的关键点和难点,并从材料、工装、成型工艺及参数、装配、装饰层的包敷等多个工艺环节采取了许多工艺措施,保证了零件制造的质量。某机型内装饰是首次加工制造的隔音软性内装饰,它的成功研制提高了我公司内装饰零件的加工制造水平,为以后新型飞机内装饰的研制积累了丰富的经验。

(责编 深蓝)