

# 飞机复材零件成型加工与工装设计

张旭艳 杨绍昌 刘一帆

(中航西安飞机工业集团股份有限公司, 陕西 西安 710089)

**摘要** 飞机部分性能的作用发挥需要复材零件的支持, 飞机组装中复材零件的使用可以很大程度的提高飞机的耐腐蚀性以及飞机整体架构的稳定性, 同时还可以减少零件制造材料的成本, 复材零件的使用是飞机制造的一大创新和进步, 促进了飞机零件的性能提升。工装设计是复材零件成型的必备条件, 通过对复材零件相关性能的分析, 得到最为合理的工装设计方案, 促进飞机零件性能的最优发挥。本文对复材零件和工装设计进行简单的介绍并对其各自的特点进行分析, 列出部分广泛使用的零件成型技术并进行介绍, 最后对经常应用于飞机制造中的碳纤维复合材料进行介绍, 以明确对飞机复材零件加工成型于工装设计的认识 and 了解。

**关键词** 复材零件 成型加工 工程装备设计 飞机零件

中图分类号: V22

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)11-0054-02

复合材料作为新式制造材料, 在飞机制造领域被广泛应用, 复材零件的大规模使用会为飞机的整体性能带来质量的飞跃和重量的减轻, 对飞机制造厂商与飞机使用企业来讲可以减少成本、提高性能, 有着巨大的经济效益好处, 可以促进飞机制造的进一步发展。工装设计则是复材零件成型加工的重要前期准备, 只有秉承严谨科学的态度进行工艺装备设计, 才能将复材零件的成型加工做到符合各种标准, 为飞机的性能提升提供条件。

## 1 复材零件与工装设计的特点与联系

### 1.1 复材零件与工装设计的特点

#### 1.1.1 复材零件

复材零件, 即使用复合材料制成的零部件。重点在于复合材料的应用, 复合材料在航空制造中具有重要的应用, 大部分零件都依靠复合材料进行制造。复合材料中以纤维增强材料的应用最为广泛, 其拥有普通材料所不具备的高程度比刚度和比强度, 以及优良的化学稳定性、减磨耐磨的优秀性能, 还有最为重要的几乎为零的低热膨胀系数, 复合材料中的石墨纤维与树脂复合可以将航空航天零件制造中的热膨胀系数降到极低的一个水平。这些重要特征都为航空航天各部分的零件设计提供了材料性能的支持。复合材料产品成型是具有一定的特征的, 如纤维和树脂材料要在一定的温度、压力、时间条件下才能固定为一定的形状, 复合材料成型是一个与金属成型不同的材料和结构同时完成的过程, 复合材料成型过程也要经过原材料的选择、加热、浸渍、固化等环节, 需要先进、便利的技术支撑。

飞机复材零件需要利用低热膨胀系数的复合材料进行制造, 可以很大程度地减少飞机的机身重量, 提高飞机在飞行中的安全系数, 同时还可以精简飞机部件数量, 缩短飞机制造和组装的周期。

#### 1.1.2 工装设计

工装设计, 即工艺装备设计, 是飞机零件制造的上游

环节, 主要分为生产工艺装备和标准工艺装备。飞机工装设计对飞机制造行业有着许多的好处和作用, 如保证飞机制造的质量水平、提高飞机制造的工作效率、减轻劳动强度、降低生产成本等, 工装设计的应用对飞机制造的发展有着积极意义。飞机零件成型加工则是应用的零件工艺装备设计技术, 可以保证飞机零件的精准度和零件部分之间的协调性。

工装设计首先是要满足零件的精度要求, 根据工装设计中的尺寸对零件进行加工, 保证零件构造与材料的热膨胀系数相匹配, 以保障零件的稳定性和精准度; 其次是要要求工装设计为零件提供足够的刚度和强度, 能够承受飞机上其他组件的重量, 且在使用过程中不易变形, 延长使用寿命; 之后便是要求工装要具备良好的热传导性和稳定性, 变化因为高温而变形, 保证零件的质量水平。

### 1.2 复材零件与工装设计的关系

工装设计是飞机复材零件成型加工的前提条件和上游环节, 只有进行合理的工装设计, 才能制造出符合理想预期的复材零件。复材零件的成型是在工装加工中进行的, 各种成型技术对工艺装备都有着各自的要求。<sup>[1]</sup>

工装设计在飞机复材零件的成型加工需要考虑多方面的问题, 如零件结构的特点、零件的性质和质量要求、互换协调的要求、现行技术是否支持等因素, 再对飞机零件的具体结构进行设计, 以保证零件性能的最大化和最优化。

## 2 复材零件成型加工的相关技术的应用

飞机复材零件大多用于飞机的机身和壁板, 因此零件的安全性能得到了很大的重视。复材零件的成型加工离不开相关技术的支持。

高性能热塑复合材料成型工艺, 是由热固性树脂复合材料和金属成型技术演变而来, 根据设备的差异可以分为模压成型、双膜成型、热压罐成型、真空袋成型、纤维缠绕成型等方法, 是飞机复材零件成型加工最为常用的技术,

也是最为全面、先进的技术,可以根据情况的不同选择相适应的成型技术,使得飞机零件的成型加工有着多重技术的质量保障。

### 2.1 热压罐复材零件成型技术

热压罐成型技术是指将复合材料的毛坯、蜂窝夹芯结构等密封在工装上,之后将工装置于热压罐中,在真空状态下经过升温、加压、保温、降温、卸压等过程,使复合材料成为所需的零件形状和质量的工业技术。热压罐成型技术是现阶段应用较为广泛的一种主要成型方法之一,其适用于大部分热固性复合材料的成型。

热压罐技术对复合材料的固化有着复材多的好处,如压力均匀,使制品各点压力相等,能够在相同压力下成型;温度可控,能够在零件成型制造中控制热压罐的温度,使得温度控制在工装设计的理想范围内;适用范围较广,其模具可以进行多种简单或复杂形状的使用,这也就大大地提高了制件效率,降低制造模具的成本;以及成型工艺较为成熟,稳定性强,压力与温度都可以进行人为调节,使操作者可以准确地控制零件的质量水平。

但热压罐技术也有投资大、成本高的不足,需要大量的前期投入作为支持。热压罐接轨较为复杂,设备造价高,每次使用都要消耗大量的水、电、真空袋膜等能源和材料,前期的生产成本会比较高。

### 2.2 预浸料成型技术

预浸料成型技术适用于生产量较大、尺寸精度要求高的零件制造。预浸料成型技术中广泛用于航空复合材料制造的又以碳纤维预浸料技术为主流技术,包括溶液预浸和胶膜预浸。溶液预浸是先将碳纤维引进预浸槽中,再进行冷却;而胶膜预浸则是将碳纤维引导上涂上胶并加热之后冷却的技术。预浸技术可以增强材料的耐用度,对飞机复材零件的成型较为有利。

### 2.3 缠绕成型技术

缠绕成型工艺是指将预浸过树脂的连续纤维材料按照一定的规律缠绕在芯模上,然后经过固化之后进行脱模,获得制作成品的成型技术。缠绕成型技术所应用的装备从机械式到机器人缠绕,经历了多种设备的变革,目前的缠绕成型设备主要朝着多工艺复合、高速高精度缠绕、连续缠绕等方向发展,缠绕成型工艺中如高精度张力控制器、内加热固化模具等辅助设备也在不断的精进和变化,缠绕成型技术的工艺水平与制件品质也在不断提升。<sup>[1]</sup>

缠绕成型工艺应用多种不同的纤维缠绕机器,根据不同制件的特征选用相适应的机器,缠绕成型设备机器类型包括如螺旋缠绕机、轨道式纤维缠绕机、行星式纤维缠绕机、滚转式缠绕机等,此技术对缠绕设备的要求较为复杂,但同时也能保障零件制品的质量,稳固性可以得到保障。

### 2.4 模压成型技术

模压成型是一种将预成型过的复合材料放入开放的加热模具中,然后封闭模具进行加压,使材料延伸到模具的

各个区域,将温度升高,在材料成型后释放压力并将零件卸下的成型技术。模压成型是一种比较流行的工艺,它能够把优越的复合材料制造成较为复杂的零件,尽管模压成型不能达到塑料注射成型的生产速度,但与经典的层压复合材料技术相比,模压成型技术提供了更多的几何形状选择,还将允许更长的纤维材料的应用,使零件更加坚固。

模压成型技术具有制造复杂零件的能力,同时又兼顾生产周期和生产成本的考虑,因此模压成型工艺是一种较受制造商欢迎的技术。而模压成型技术中最为关键的便是模具的使用,在分析零件制品的特性和质量要求的基础上,增加温度、时间、压力等因素的考虑,确保复合材料能够在模具中充分地流动并填充均匀完整,以获得工艺精美的零件产品。

## 3 复材零件工装设计中的材料选择

目前,飞机上使用最为广泛的就是碳纤维增强树脂基复合材料,该材料具有很强的抗腐蚀性和抗疲劳性,还具有密度小、重量轻、比强与比刚度高的优势。碳纤维复合材料的轻量、坚固的优点,非常符合航空航天零件制造中减轻重量、减少成本、提高性能的要求,如波音787的飞机零件制造大量采用碳纤维复合材料。

蜂窝结构是减轻飞机重量的先进技术,需要应用碳纤维复合材料来构成蜂窝结构,碳纤维材料的重量比轻质合金还要更胜一筹,且随着现代科技的不断发展以及材料的不断进步,复合材料在航空航天中的应用地位已经朝着关键结构前进。<sup>[2]</sup>在不久的将来,复合材料将广泛应用于飞机零件的制造中,并大大减少飞机零件的制造成本、提高飞机零件的性能,为飞机制造的发展提供良好条件。

## 4 结语

飞机复材零件的成型加工离不开合理的工装设计,因此在飞机的零件制造过程中,需要着重对飞机复材零件材料的选择和工装设计的合理性要求,不仅可以提高飞机制造零件的耐用性,还能在一定程度上促进飞机性能的提升。对于多种先进技术的应用也是零件设计和制造的关键,高水平技术的使用会在很大程度上发挥材料本身的优越性,解决飞机复材零件制造中的若干难题,提高零件的精度和耐用程度,提高飞机的使用期限和质量水平,保障飞机零件在飞行过程中安全性能的发

## 参考文献:

- [1] 王海燕. 飞机工装设计制造研究[J]. 化纤与纺织技术, 2021, 50(04): 113-114.
- [2] 刘宇欣. 基于工装设计标准化的航空制造效率提升研究[J]. 现代制造技术与装备, 2020(05): 205, 208.
- [3] 李德尚. 飞机复材零件热压罐成型复材工装设计技术[D]. 南京航空航天大学, 2010.