

大曲率复杂钛合金零件成形工装设计研究

Tooling Design and Research of Large Curvature Complex Titanium Alloy Part Forming

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司制造数据中心 张云鹏

[摘要] 在钛合金零件加工过程中,热成形和超塑成形是零件成形的两种方式,而这两种方式加工依据是成形工装,通过对成形工装的合理设计,可以有效提高钛合金零件成形的表面质量和工作效率,所以,成形工装的设计将是钛合金零件加工的关键因素。

关键词: 钛合金 工装设计 热成形 超塑成形 工艺数模

[ABSTRACT] In the process of machining titanium alloy, hot forming and superplastic forming are two ways of forming parts, and the two ways of processing are based on the forming tools, through the rational design of forming tools, can effectively improve the titanium alloy parts forming quality and work efficiency, therefore, the design of form tools will be a key factor in titanium alloy machining.

Keywords: Titanium alloy Tooling design Hot forming Superplastic forming Process model

钛合金作为一种飞机结构材料,具有比强度高、耐高温、耐腐蚀性和与复合材料相容性好等特点,有利于减轻飞机重量、提高飞机安全性和降低综合成本。但是,钛合金的屈强比高且弹性模量小,反映在成形上为变形范围窄、易开裂、回弹大和尺寸精度难于保证。为了克服上述钛合金成形难点,一般需要将其加热到较高的温度进行成形^[1]。

随着数字化技术的快速发展,飞机零件工装加工已逐步由模拟量加工向数字化加工转变,按模线样板加工工装的生产方式逐渐被淘汰。在钛合金零件成形工装设计过程中,通常是以单个零件三维数学模型来设计其工装的,现阶段这种工装设计的合理性已经达到了最佳,但对于某些大曲率复杂钛合金零件来说,合理的工装也无法完全保证加工出来的产品是优质的,甚至还可能会产生超差和废品。为此,可以把多个装配零件放在一起考虑整体工装设计的可行性,尤其是焊接类钛合金零件,整体工装设计不但省去了多个零件相互焊接的麻烦,还会显著提高整

个部件的表面质量。此外,为了节省能源和提高工作效率,在一个工装上同时完成多个零件的加工也是今后飞机工装设计的一个发展方向。

1 大曲率 Z 型材钛合金零件成形工装设计

1.1 零件特点及其工艺性分析

由于发动机整流罩在飞机飞行过程中温度较高,所以,大部分零件都采用钛合金来进行加工的,其内部含有大量 Z 型材钛合金零件,这些零件完全贴附在整流罩内轮廓上,因而 Z 型材有着较大的曲率。在加工时, Z 型材回弹现象严重,且容易产生褶皱。为此,零件加工要从工艺性着手,设计合理的成形工装,把零件成形过程中出现的不利因素减至最小。此类零件一般采取毛料弯曲成形、型材拉弯成形以及热处理的加工工艺。

1.2 工艺数模设计

在整个零件成形过程中,需要弯曲模、拉弯模和稳定热处理夹具。弯曲模和拉弯模可以直接按零件三维数模(又称工程数模)来加工,而在热处理时,为了提高工作效率,可以在一个稳定热处理夹具上同时处理多个零件。鉴于飞机部件左右对称的原理及其相似原理,示反零件常采用此种设计方法。稳定热处理夹具的设计依据是工艺数模,所谓工艺数模就是在零件三维数模的基础上进行二次设计所得到的制造数据集^[2]。在工艺数模设计时,首先选择对称面,对称面与零件边缘留有一定距离,即工艺余量,然后把零件边缘延伸至对称面,最后,零件三维数模以对称面为基准做镜像处理(见图 1),至此,工艺数模设计完成。

1.3 稳定热处理夹具设计

以工艺数模为设计依据,可以快速地完成稳定热处

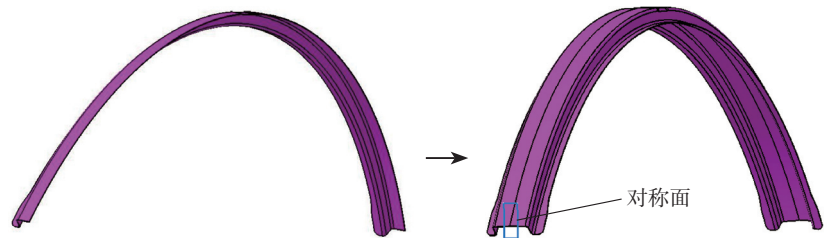


图1 零件三维数模(左)与工艺数模(右)对比

Fig.1 3D model (left) and process model (right) comparison

理夹具的设计。夹具主要包括胎体、盖板、圆柱销和吊环等结构。夹具设计要充分考虑热处理的相关工艺性,方便在热处理过程中的使用,如图2所示。

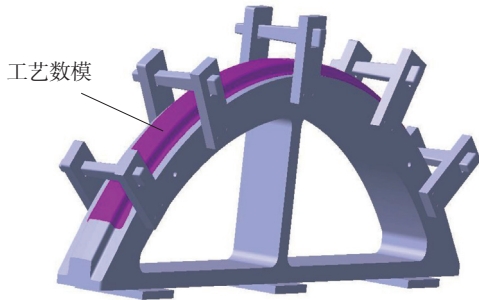


图2 稳定热处理夹具三维数学模型 (不带盖板)

Fig.2 Stable heat treatment 3D model of fixture (without cover)

2 复杂焊接类钛合金零件成形工装设计

2.1 钛合金焊接的主要缺陷

钛及其合金焊接时的主要问题是易产生气孔和裂纹。气孔是钛及其合金焊接时最常见的缺陷之一,气孔不仅造成应力集中而且会使整个焊接接头塑性及疲劳,寿命降低。冷裂纹是钛及其合金焊接时另一种常见的缺陷,对接头处的冷裂纹一般处于焊缝横断面上^[3]。

随着钛合金焊接技术的发展,上述缺陷已逐渐被克服,但对于钛合金加工,防止焊接缺陷发生的最有效方法就是尽可能不使用不必要的焊接。一些焊接部件可以通过整体设计来减少焊接次数,以达到提高零件加工质量的目的。此外,对于一些曲率较大的锥形零件,为了减小零件回弹、降低加工难度,有时还需要进行二次分割,增加焊接次数。所以,在焊接类零件加工过程中,如何寻找焊接次数和成形难易程度的最佳平衡点是关键。

2.2 整体成形工装设计实例

2.2.1 ARJ21 飞机气源分配系统防火罩加工现状分析

防火罩由 22 个钛合金零件焊接而成(见图3),当初之所以把防火罩分割成如此多的零件主要考虑到部件的复杂程度,这些零件全部采用热成形加工工艺。经过设计分割后,零件总体加工难度大为降低,但在后期焊

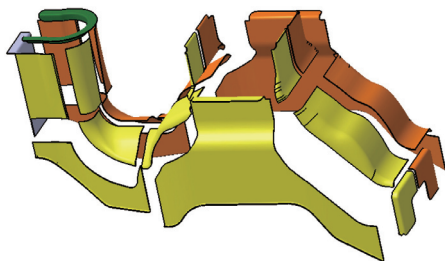


图3 防火罩三维数学模型分解图

Fig.3 Decomposition map of fire cover 3D model

接时却遇到了困难,因为把这 22 个零件焊接在一起,并保证加工精度并不容易,首先零件定位就很难保证;其次,焊接部位产生的内应力难以完全消除,这会引发零件的形变;最后,由于防火罩要求具有良好气密性,所以要求焊接时不能产生漏点。从前期整个部件的加工情况看,零件的焊接效果不理想。

为此,只有最大程度的减少焊接次数才有可能保证零件的加工精度。针对防火罩结构特点,把多个零件结合成一个整体来进行热成形显然难度较大,而超塑成形可以很好地解决此类问题。

2.2.2 钛合金超塑成形工艺简介

超塑成形是利用钛合金在特定条件下所具有的超塑性来进行超塑加工的方法。从 20 世纪 60 年代起,世界各国在超塑性材料方面进行了大量研究,并初步形成了比较完善的理论体系^[4]。超塑成形技术可以制造出外形复杂的钣金零件,能有效降低生产成本和减轻结构重量,因而在航空领域被广泛应用^[5]。

2.2.3 工艺数模设计

在确定防火罩整体超塑成形工艺后,接下来要设计工艺数模。工艺数模设计的最佳方案是尽可能包含所有部件,这样可以一次成形完成整个部件的加工,同时,从防火罩外形来看,整个部件存在闭环结构,需要从中间进行分割。由于部件左右对称,可以根据一侧(如右侧)来进行设计,并选取适当的对称面(不同于飞机对称面),以对称面为基准对零件三维数模做镜像处理,最后,在零件三维数模周围和对称面两侧添加一定量的工艺余量即可(见图4)。另外,需要说明的是余量的设计要充分考虑到零件脱模的可行性。

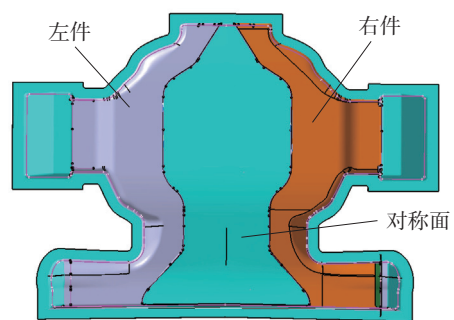


图4 防火罩工艺数模

Fig.4 Fire cover process model

2.2.4 超塑成形模具设计

工艺数模是工装设计的难点,它是超塑成形模具设计的前提条件,工艺数模设计完成意味着可以进行模具设计了。设计模具时一般选取工艺数模的外形面,其他按模具设计相关要求设计就可以了,其下模部分设计构造见图5。

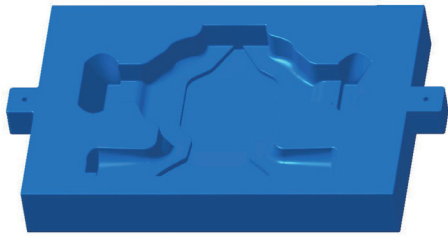


图5 防火罩超塑成形模具三维数学模型(下模)

Fig.5 Fire cover 3D model of superplastic forming die (under die)

2.3 分割成形工装设计实例

2.3.1 ARJ21 飞机防护罩加工现状分析

防护罩焊接件主要是由图6(中)4个零件组成,整个部件的材料为钛合金,由于部件呈斜圆锥型,曲率大,所以热成形难度大、回弹严重。为了提高零件加工质量,需要对零件成形工装进行必要的改进。

2.3.2 工艺数模设计

相对焊接难度而言,4个零件热成形难度要大很多,所以可以通过减小零件曲率的方式来降低

零件热成形难度。为此,可将防护罩的四个零件重新进行合理的工艺分割,也就是将四个零件在其曲率最大处进行分割,形成八个单独的零件再分别进行加工,这样,每个零件的曲率变小了,零件热成形的加工难度降低了,同时,保证了零件的加工精度,为后续零件的准确焊接奠定了基础,并且在很大程度上消除了焊接引起的内应力,防护罩分割后生成的工艺数模见图6(下)

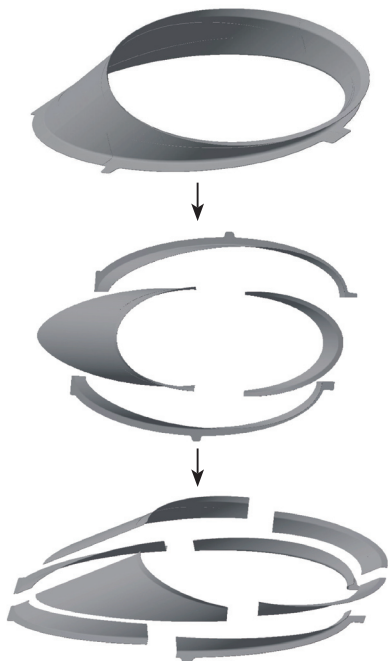


图6 防护罩三维数学模型(上、中)及工艺数模(下)

Fig.6 3D model (top, middle) and process model(down) of protective cover

所示。

2.3.3 热成形模具设计

针对8个被分割的零件,为了提高生产效率,热成形模具也采取了对称设计。图7为4个零件中曲率最大的零件被分割后生成的2个零件的热成形模具下模部分,这样的模具在实际生产中应用效果良好。

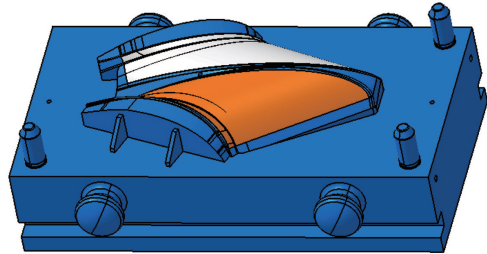


图7 防护罩热成形模具三维数学模型

Fig.7 3D model of hot forming die protective cover

3 结论

在飞机大曲率复杂钛合金零件加工过程中,对成形工装进行合理的设计将有助于提高零件加工的质量,同时,也会在一定程度上节约能源。除航空领域外,在其他行业钛合金零件制造中,成形工装设计也将越来越影响着零件加工的质量,这也是未来制造业发展的一个重要方面。

参考文献

- [1] 李鹏亮,张志. 钛合金热成形模具. 航空制造技术,2012(21):94-97.
- [2] 郑双. 飞机机加件三维工艺模型数字化定义[D]. 沈阳:沈阳航空航天大学,2012.
- [3] 缪林久. 钛及其合金焊接缺陷的产生及防止. 大众科学,2006(3):58-59.
- [4] 李梁,孙建科,孟祥军. 钛合金超塑性研究及应用现状. 材料开发与应用,2004,19(6):34-38.
- [5] 赵林博,徐珊珊. 钛合金超塑成形工艺及应用. 科技创新导报,2011(19):59.
- [6] 杨建. 民用飞机机体用钛合金的新技术探讨. 航空制造技术,2011(13):51-53.

(责编 深蓝)

(上接第108页)

- [2] 江茨,罗文波,等. 关于理想塑性板材弯曲变薄理论解的矛盾及原因分析. 塑性工程学报,2002,13(1):26-28.
- [3] 柳建安,舒丽萍. V形件自由弯曲应力分析和最大弯矩计算公式. 中南林业科技大学学报,2007,27(3):141-144.
- [4] 毛云生. 板材弯曲伸长的理论研究. 武汉理工大学学报,2002,26(5):592-595.
- [5] 梁炳文. 板金成形性能. 北京:机械工业出版社,1995.

(责编 日午)