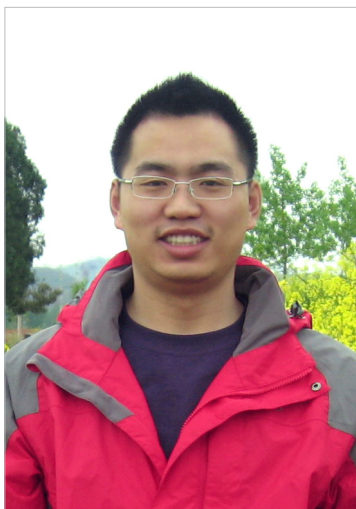


# 高强度钛合金导弹舵翼面设计 制造技术

## Design and Manufacture Technology of High-Strength Titanium Alloy Rudder and Wing on Missile

中航工业空空导弹研究院 姚利兵 刘献伟 张鹏 苏鹏



姚利兵

工程师,毕业于西北工业大学机电学院,现从事导弹总体结构设计与制造等相关技术的研究。

导弹舵翼面是弹体主要承力部件之一,其表面积比较小,厚度比较簿。结构设计要求其具有良好的气动性能、质量小、承载大,同时必须保证具有良好的强度和刚度,在各种使用环境下正常工作,而且结构简单,工艺性好,使用、维护方便<sup>[1]</sup>。

钛及钛合金具有密度小、比强度高、耐腐蚀性好和热强性高的特点,

目前常用的重量轻、强度高、空心结构的钛合金舵翼面主要采用的形式有超塑成形 / 扩散连接结构和机械加工 / 扩散焊接结构。

有利于降低飞行器的结构重量,提高飞行器的结构效率。目前常用的重量轻、强度高、空心结构的钛合金舵翼面主要采用的形式有超塑成形 / 扩散连接结构和机械加工 / 扩散焊接结构。

### 超塑成形 / 扩散连接技术方案

#### 1 超塑成形 / 扩散连接技术

超塑成形(Superplastic Forming, SPF)是利用材料的超塑性来成型零件的一种工艺方法。超塑成形工艺能够制造出常规工艺难以成形的复杂结构,而且没有回弹,能够保证成形零部件的精度,加工重复性好<sup>[2]</sup>。

扩散连接(Diffusion Bonding, DB)是利用被连接材料的表面在不足以引起塑性变形的压力和低于被连接工件熔点的温度条件下,使接触面通过原子间相互固态扩散而形成连接的方法<sup>[2]</sup>。

钛合金材料的超塑成形温度和

扩散连接温度接近,可以在一个热循环中完成成形和连接两个工艺过程,从而制造出复杂外形曲面、内筋加强的空心整体构件。SPF/DB适用于多层空心结构件的制造,能够降低零件整体重量,使复杂薄壁零件整体化,缩短了制造周期,提高了零件整体性能<sup>[3]</sup>。

#### 2 舵翼面研制总体思路

首先,将设计图纸结合 SPF/DB 成形工艺,建立带筋零件的三维模型;然后,利用有限元分析软件对零件成形过程和受载工况进行综合分析,通过上述分析指导工艺试验,及时调整工艺参数;最后,利用成形零件的性能试验,进行分析和修正,经过反复验证优化,得到满足设计要求的產品。

根据舵翼面零件的结构特点,内部结构设计采用四层结构,以增强刚度和承受面集中载荷的能力。四层结构直立框架的承载能力和结构效

率较高,具有很好的刚性,可基本满足导弹舵翼面的要求。

### 3 结构优化设计

使用拓扑优化和数值仿真分析软件,根据结构件重量和质心位置要求,对产品内部结构进行布局。考虑到气动加热和颤振条件,将配重设置在舵面前缘,既满足颤振条件同时又提高前缘处的热容量和强度。舵面内部结构设计形式如图1所示。

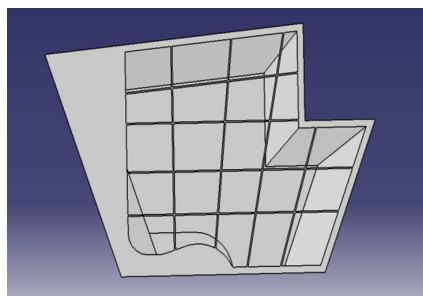


图1 舵面内部结构设计图  
(超塑成形/扩散连接)

### 4 工艺流程

超塑成形/扩散连接工艺流程:下料清洗-制备划线样板-在薄板划止焊剂图形-清洗-酸洗-配制止焊剂-涂敷止焊剂-封焊准备-装入夹具定位-封边-清理模具-入炉前准备-装模-升温-保温-降温-出炉-超声波检测-切割外形-修整-清洗-检验。

### 5 超塑成形/扩散连接方案技术特点

#### 5.1 优点

(1)减重效果突出,零件厚度越大越明显;(2)材料利用率高,结构设计灵活,改善结构性能,延长产品寿命;(3)改变传统结构设计概念,提高结构完整性;(4)零件的强度和刚度性能良好。

#### 5.2 缺点

(1)使用材料仅限于薄壁板材,厚度减薄严重<sup>[3]</sup>;(2)零件内部筋条布局受工艺技术条件限制,厚度和间距受限;(3)温度、压力等工艺参数若控制不好,会产生工艺缺陷,如零件表面出现凹陷,影响表面外观质量;(4)设备投资费用较大,工艺过

程控制复杂。

### 机械加工/扩散连接技术方案

#### 1 总体技术思路

钛合金机械加工/扩散连接技术也是一种制造高强度空心整体结构的很好的方法,尤其适合厚度不大的舵翼面零件。

其设计制造思路是首先利用机械加工的方法加工出零件内部型腔和筋条,然后再利用扩散连接技术将零件的两个内部面连接在一起,最终得到空心整体结构。

机械加工的方法具有精度高、效率高,适应性强、工序集中、工装少、生产周期短的特点。此种方案可以根据零件设计要求对内部筋条布局进行设计和制造,不仅灵活自由,而且能提高结构承载效率。

#### 2 结构设计

使用专业软件进行舵翼面的静强和热环境仿真分析,得到舵翼面的质量质心特性,强度刚度特性、热应力特性等,通过迭代优化,最终确定所需的板材厚度、连接件几何尺寸等,舵面内部结构设计如图2所示。

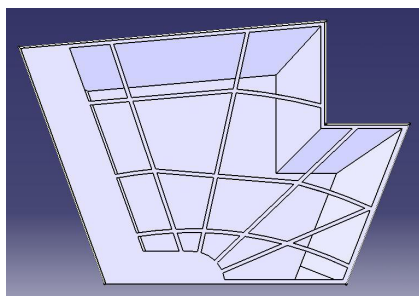


图2 舵面内部结构设计图  
(机械加工/扩散连接)

#### 3 工艺流程

舵翼面机械加工/扩散焊接的工艺流程:下料-热校型-精铣型面-铣内型-修正-清洗-酸洗-封焊准备-氩弧焊封边-清理模具-入炉前准备-装模-升温-保温-降温-精铣外形-修整-清洗-各项检测。

#### 4 机械加工/扩散连接方案技术特点

#### 4.1 优点

(1)零件内部结构可设计性强,可以加工出优化的内部筋条,提高结构承载效率;(2)工艺流程简单、工艺参数易控制、质量稳定、合格率高;(3)焊接接头质量好,其主要工艺参数易于控制<sup>[4]</sup>;(4)零件变形小,焊接面广,外观表面质量好。

#### 4.2 缺点

(1)受钛合金机械加工效率的影响,不太适合厚度较大零件加工。(2)零件待焊表面处理以及装配的要求较高。(3)焊接热循环时间长,生产效率低。(4)设备一次性投资大,而且焊接工作的尺寸受到设备的限制<sup>[4]</sup>。

### 质量检测及试验验证

在舵翼面的研制过程中采用的检测措施和试验包括:(1)按批次进行原材料的入厂检验、理化分析及力学性能测试;(2)严格控制关键工艺过程;(3)加强工艺参数控制;(4)产品尺寸和外观质量检验;(5)质量质心检验;(6)X光无损探伤检验和超声波探伤;(7)进行地面静强试验考核(采用柔性分布式加载方式,如气囊加载和胶布带加载等);(8)每批进行地面破坏性强度试验<sup>[5]</sup>。

试验验证结果表明,采用这2种方案制造的舵翼面的强度和刚度都满足设计指标,均能够实现空腔密封,质量质心和外观满足设计需求。

### 结束语

超塑成形/扩散连接方案,技术难度相对较高,工艺上更适合在厚度上较大的空心整体结构;机械加工/扩散焊接方案技术难度相比稍低,由于机械加工效率,工艺上适合厚度不大的空心整体结构。

本文有参考文献5篇,因篇幅所限未能一一列出,读者如有需要请向本刊编辑部索取。(责编 亦非)