

# 波音客机垂尾钣金支撑件 数字化成形技术

Digital Forming of Boeing Vertical-Tail Housing

中航工业沈阳飞机工业集团公司 咸 阳 李 辉 尉国强



咸 阳

助理工程师,主要从事航空钣金零件的工艺加工和技术工作。

波音公司是与中航工业沈阳飞机工业集团公司合作多年的美国民机项目最大的公司,其新一代大型飞机机体多采用高分子复合材料设计,并应用 PLM 流程控制和采用 MBD 理念数字化制造加工。波音 787 是第一架从产品概念设计到生产全过程使用 PLM 解决方案的飞机,也是第一架虚拟推出的飞机。除去复合材料和机加零件之外,部分钣金件的

本文依据“飞机科研生产数字化工程”理论研究与实践简要介绍了新型波音飞机中,基于 MBD 三维数据集生产制造的某项钣金支撑类零件的 MBD 数字化成形加工方法,包括工艺方案的初选、工装模具的结构参数改进、生产过程的质量控制、检验夹具的设计思路等生产流程各个方面,并总结展望了国内航空企业钣金数字化生产发展的前进方向。

加工精度要求极高,对于零件的工艺生产也提出了新的要求。

本文依据“飞机科研生产数字化工程”理论研究与实践简要介绍了新型波音飞机中,基于 MBD 三维数据集生产制造的某项钣金支撑类零件的 MBD 数字化成形加工方法,包括工艺方案的初选、工装模具的结构参数改进、生产过程的质量控制、检验夹具的设计思路等生产流程各个方面,并总结展望了国内航空企业钣金数字化生产发展的前进方向。

某机型垂尾前缘中的铝制钣金支撑件草图见图 1。零件厚度为 1.8mm,材料来料状态为铝合金 6013-T4,毛料尺寸 700mm×500mm。由于较厚且为 T 料成形后期还

需经过沉淀处理,零件本身包含多个导孔,两侧弯曲长边内部还包含 3 个异型凸边孔且高度较高,无法进行液压成形;原有的工艺手段——采用闸压成形方法时的回弹张角较大,且闸压时闸刀需穿过侧边上的圆形凸边孔,腹板面很难保证平整度,此外图纸也提出了孔位目视检测依据和要求,靠原有的加工方法无法实现。

因此,根据工程数据集和 MBD 设计信息,采用数字化加工方法完成零件的生产工作。

## 成形方案分析

首先分析确定该零件的生产成形方案:鉴于毛料尺寸较大,材料成形难度大而且不适宜采用一步成型

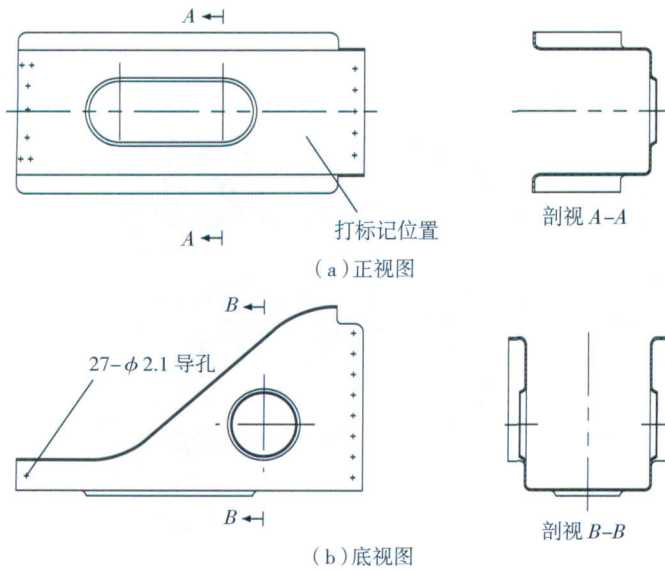


图1 零件工程草图信息

法或级进模的生产加工,综合成本价值流分析与生产进度等因素后采用分步成形法生产(表1)。

工艺开发工作将在三维数字化环境下直接依据三维实体模型展开,完成工艺方案制定及详细工艺设计,并产生三维数字化工艺,利用MBD理念真正做到无图制造,所有工艺与生产以3D数据集作为生产现场的操作依据和产品起点(图2)。

飞机产品的复杂性特点决定了飞机零件形状复杂、几何参数多,不能单靠零件自身的尺寸准确度来保证最后产品形状和尺寸精度,必须依靠工装和样板等进行保证。先利用型胎成形外缘小弯边,利用外方提供

的铝制型胎液压成形。2个圆形凸边孔及异形孔均由橡皮囊液压机压出并适当加大压力为60MPa。

再利用闸刀在EP60-300折弯机上冲出两侧的弯边,进行收边机校平修整至底面平整。沉淀处理至T62状态后,材料变硬零件发生少量变形,修整时很困难,无法保证零件的精度(图3)。因此对于热处理前的操作工序零件质量进行控制是主要的着眼点。

### 改进方案分析

利用二维数据集零件数铣下料,保留住两端的定位耳片和定位孔。先液压成形,然后利用弯曲模进行弯曲成形,工装利用2-φ6.2销钉定位,在二维数据集两侧增加申请销钉孔(图4),在两个小弯边及所有凸边孔已成形完毕的情况下,模具制造出躲避槽;同时工装凹模板采用分体结构,辅助顶杆和导柱导套结构便于

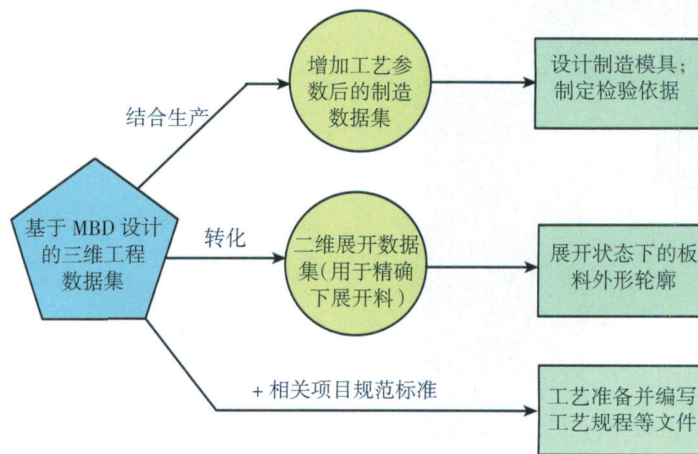


图2 MBD工程基准板材生产流程

表1 零件简略成形生产流程

步骤	内容
第一步	根据MBD设计理念,读取零件信息,使用工程数据集转化铣切下料,开出各个导孔与凸边展开孔具体位置,同时利用试验用料进行相关的模具工装试压,调整间隙参数
第二步	液压成形:利用工装液压成形外缘小弯边,适当使用硬橡皮避免褶皱产生
第三步	冲压成形:圆形凸边模与异形凸边模各一套,在校平展开料的情况下上冲床成形3个异形凸边孔
第四步	弯曲成形:弯曲腹板上的两个直角弯边
第五步	闸压校形:安装闸刀调整下槽座,成形点压校正两个腹板面上的大弯边
第六步	修整检验后送热表车间处理,终检按照三维制造检验夹具交付

零件的取出和安装夹紧(图5)。新制圆形与异型凸边模各一套,用于冲压凸边模代替液压成形中存在的凸边孔高度不够的问题。

弯曲成形后的零件,再利用特制的闸刀在EP60-300折弯机上校正两侧的弯边,改进后的闸刀穿销式结构能够顺利地安装并固定良好。最后手工修整零件即可满足要求。

### 加工试压中的工艺参数确定

#### 1 U形弯曲模的凸凹模间隙

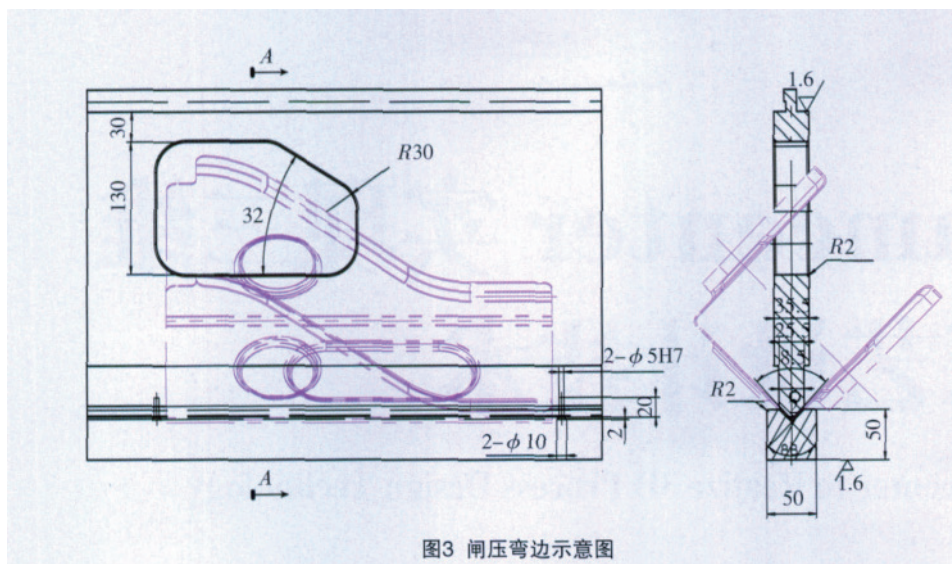


图3 闸压弯边示意图

成形中,侧面需增加增压块来完善成形结构。在修整所使用的工具上,使用软性塑胶或木锤,并且采用200号以上的砂纸进行操作。加工中杜绝惯性使用的铁锤和100号以下过于粗糙的砂纸,避免破坏零件表面。

## 结束语

在市场化竞争日益激烈的今天,航空企业掌握并实施MBD技术在未来数年内都是大的发展方向。必须广泛地吸取波音、空中客车等国际先进航空制造业的加工制造理念和高新技术,不能满足于简单的项目转包

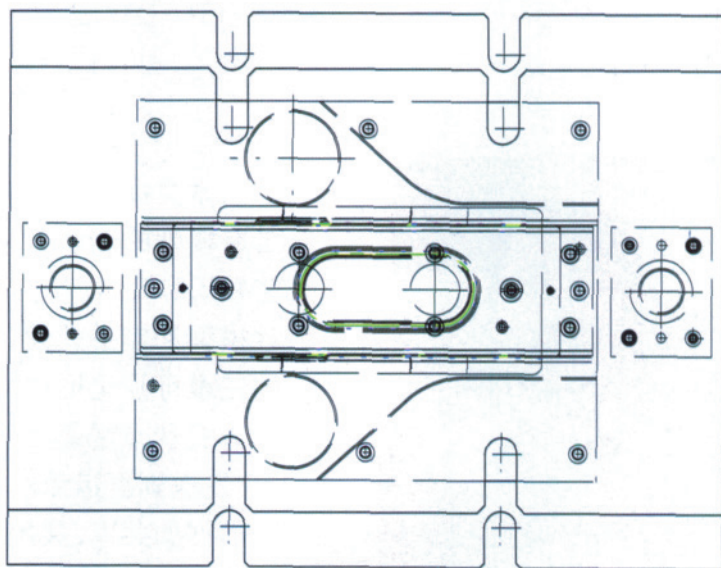
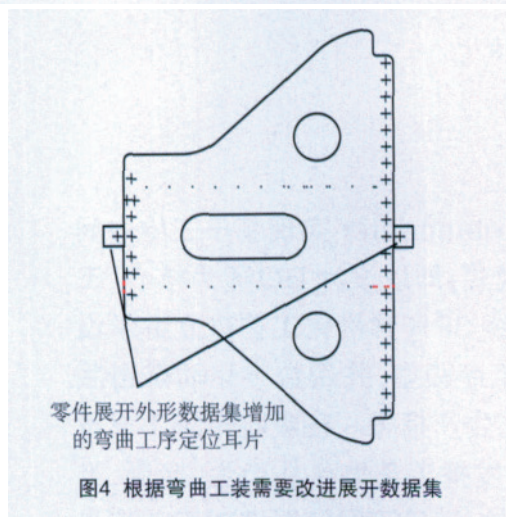


图5 基于MBD设计的弯曲模填充毛料示意图

在模具装配初步实验进行的过程中,出现了划伤零件和间隙过紧的情况。经过分析和调查,与设计人员协商,得出U形件的单面间隙 $Z$ 值,对弯曲件的回弹及表面质量起着决定性的影响。经过跟产刃磨,将间隙数值确定为0.24~0.30。同时减少不必要的顶杆行程为20mm。

## 2 凹模圆角半径的确认

凹模的模口圆角半径 $R_A$ 不能过小,否则弯矩的力臂减小造成毛料进入凹模的阻力增大,从而增加弯曲力、擦伤毛料表面。当零件厚度 $t = 1 \sim 2 \text{ mm}$ 时, $R_A = (2 \sim 3) \times t = 3.5 \text{ mm}$ 。

## 3 检验工装的设计与制造

工装采用框架式结构,适当位置安放卡板。用于检验零件成形后的两侧边壁板的平行度,以及零件上

数十个 $\phi 2.1$ 的导孔位置度;夹具卡板高度适当,底面和两边壁板上的凸边孔做出躲避,夹具两侧卡板间距比零件两侧壁板间距大2mm。采用穿销和普通量具即可检测孔径和相关间距(图6)。

## 4 外缘局部修整

基于零件包含凸曲线弯边的原因,在使用液压成形外缘弯边时,边缘材料的流动走向会造成褶皱的产生。由于凸弯边受到压应力,除了翻边上出现起皱外,在翻边的两端平面上也会发生一个凸起,翻边的高度也不一致,在翻边的中间高度最大,向两端高度逐渐减小。因此在凸弯边

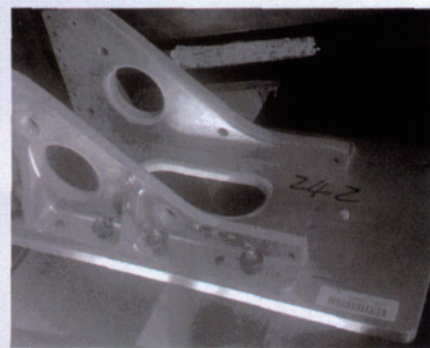


图6 用于检验平行度与孔位的定位夹具

生产,而应时刻努力提高自己的生产制造工艺水平并应用于ARJ21新支线和C919等国产飞机的生产当中,为中国民用客机的建造发展贡献力量。(责编 良辰)