

# 大型薄壁零件防变形加工工艺

Anti-Deformation Process of Machining Large-Size Thin Walled Parts

中航工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 王家颖



王家颖

工程师,从事航空数控加工专业技术工作18年,获4项国家级发明专利。

我集团公司与欧洲直升机公司合作生产飞机的零部件,这其中大部分是薄壁零部件。加工薄壁零件的主要问题是加工中出现材料变形的现象,如果被加工的薄壁材料产生了塑性变形,将无法对材料进行进一步的加工。为了生产出合格的飞机铝合金薄壁零部件,特别是大型薄壁零部件,我公司进行了加工工艺防变形

大型薄壁零件防变形加工工艺主要从整体材料加工出成品,有合理的防变形工装夹具参数、防变形工艺安排和程序编制策略。其目的是减少薄壁结构件变形量,提高加工质量。

的深入研究,研究出了切实可行的防变形加工工艺,并已成功加工出了优质的大型飞机薄壁零部件。本文将对大型飞机薄壁件的防变形工艺予以详细论述。

## 改进前的加工工艺

以外形尺寸为2200mm×1650mm×70mm、壁厚度为 $2_{-0.1}^0$ mm的大型薄壁零件为例进行说明。外形特点为“开”字形,具体加工步骤见图1~图4,正反和前端面详细形状见图5~图7。改进前的具体工艺见表1。

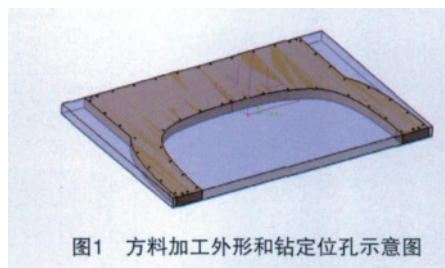


图1 方料加工外形和钻定位孔示意图

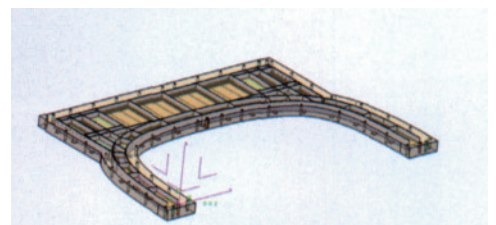


图2 翻转反面粗加工内型腔示意图

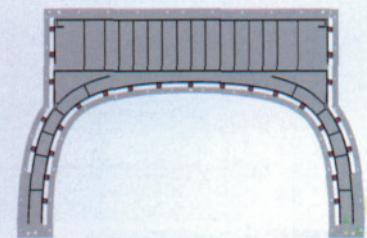


图3 零件正面精加工示意图

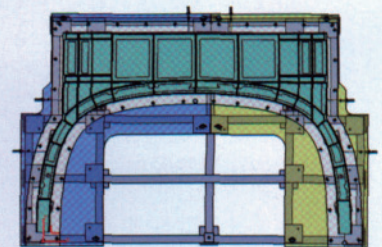


图4 零件反面精加工示意图

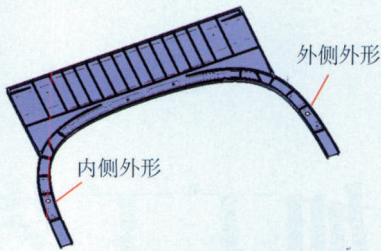


图5 零件正面立体图

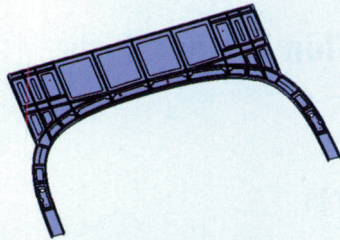


图6 零件反面立体图

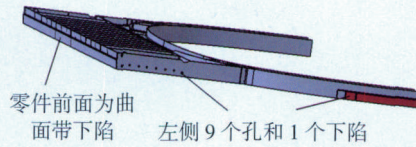


图7 零件左前侧面立体图

### 改进后的工艺

#### 1 改进后工装夹具防变形措施

##### 1.1 措施一

设计正反两面加工的真空夹具,为使真空夹具正反两面与粗加工面的各型腔平面尺寸相吻合且配合准

确,在 CATIA 的加工模块中将仿真后剩余的毛料零件的立体数模存成 cgr 的格式文件,再用装配模块导入工装设计模块中,进行分析比较,用以检验正反两面真空夹具与零件的配合吻合情况。

##### 1.2 措施二

在正面精加工夹具中设计的3个定位孔凸台,定位孔为  $\phi 12H7$ ,一个定位孔在“开”字形中间,另两个孔位置在“开”字形的延长部分,这样设计定位孔成等边三角形,三点定位稳固。在反面的真空夹具上设

表1 改进前的具体工艺

工艺流程	加工内容说明	产生变形原因
下料	坐标原点在板料几何中心, $Z_0$ 为毛坯上表面(图1)	43个定位孔数多,易产生过定位;在这个工步粗铣外形,翻转反面时易变形
	精铣上下表面保证板厚 72mm,用 $\phi 80R5$ 铣刀盘	
	钻定位孔 43- $\phi 12$ ,用 $\phi 12$ 钻头	
	钻 4-M16 吊环孔,用 $\phi 14$ 钻头	
	下料粗铣外形,用 $\phi 25R0$ 铣刀	
粗加工第二面	坐标原点在左边孔中心, $Z_0$ 为毛坯上表面(图2)	坐标原点放在左边孔定位,加工内形腔时,易产生左右内形腔壁厚不均的现象
	粗加工反面各型腔,留余量 5mm,用 $\phi 25R3$ 铣刀	
	加工连接筋部分和外形,留余量 5mm,用 $\phi 20R0$ 铣刀	
精加工第一面	坐标原点在板料左侧 $\phi 20H7$ 孔中心, $Z_0$ 为毛坯上表面(图3)	在这工步精铣内形,无防变形措施,零件加工易出现内形腔薄壁不均的现象,变形量在 0.2~0.5mm 之间;无真空夹具约束调整零件变形的的方法
	粗加工内形腔,留余量 5mm,用 $\phi 28R3$ 铣刀	
	粗加工外形,留余量 5mm,用 $\phi 25R0$ 铣刀	
	半精加工和精加工外形,用 $\phi 20R3$ 铣刀	
	半精加工内形,留余量 0.5mm,用 $\phi 16R4$ 铣刀	
	精加工内形,用 $\phi 16R4$ 铣刀	
	清角和精铣立筋,用 $\phi 10R4$ 铣刀	
	精铣内形底面,内形侧壁留 0.5mm,用 $\phi 10R4$ 铣刀	
精加工第二面	坐标原点在板料左侧 $\phi 20H7$ 孔中心, $Z_0$ 为毛坯下表面(图4)	坐标原点放到左孔中心这个位置,43个定位孔不能完全对上,无法调整零件的变形量;在加工之前没有防变形调整措施,出现变形在 0.2~0.5mm,发现每个内腔壁厚不均,由于零件变形,加工两侧孔的位置度也超差
	半精加工内形,留余量 0.5mm,用 $\phi 8R4$ 铣刀	
	精加工内形,用 $\phi 16R4$ 铣刀	
	清角和精铣立筋,用 $\phi 8R4$ 铣刀	
	精铣内形底面,内形侧壁留 0.5mm,用 $\phi 16R4$ 铣刀	
	精加工内形侧面,用 $\phi 10R4$ 铣刀	
	清根部残余,用 $\phi 8R4$ 铣刀	
钻零件两侧和上面的孔		

计3个定位孔,为 $\phi 20H7$ 。正反两面的定位坐标系都设置在两孔中心连线位置,目的是为了加工时找正定位容易,而且不容易产生偏置的定位差异,零件出现变形情况,调整定位方便,同时也调整零件在 $\phi 12$ 和 $\phi 20$ 定位孔之间的微量变形。

### 1.3 措施三

在夹具与零件外形接触部分设计深10mm、宽30mm的沟槽,以利于在采用随型摆加工零件外形时,刀具能伸向零件的底部,彻底达到切干净曲面外型面尺寸的加工要求。经过试验,工装基准平面度要达到0.02mm的精度要求,由于零件超大,通气孔需设计成 $\phi 14$ 的孔。密封槽设计成深5.5mm、宽6mm的半圆形槽体,且要达到密封要求。

### 2 切削工艺参数的选用

高速切削选用HSK系列热缩式刀柄,刀柄安装好后要做动平衡测试。选用涂层硬质合金刀具的同时,为避免刀具悬伸过长产生振动,尽可能选择悬伸短的刀具。

铝合金材料的薄壁型机加框在SIEMENS系统中的加工工艺参数见表2。

### 3 防变形加工工艺流程

工艺安排可以把下料、粗加工、

半精加工、精加工作为一个整体来考虑,设计一个合理的防变形加工方案,做到整体工艺优化。编程策略采用粗加工和下料一起考虑去除恒定体积,在反面加工时切去外形。半精加工和精加工采用顺铣方式恒定切除厚度,然后用仿真加工软件进行理论编程的检测和优化,优化刀具的悬长,优化切宽和切深、主轴转速和进给速度的实际加工参数,从而提高加工效率,避免缺陷加工,这样可以使程序更加完美和正确,使加工过程完全处于受控状态,达到安全、高效和高质量成批生产的标准。表3是

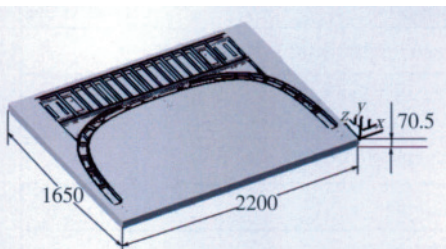


图8 正面粗加工后效果示意图

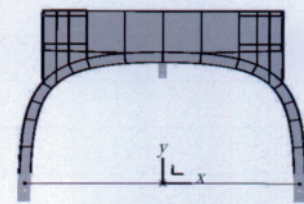


图9 反面粗加工后效果示意图

具体的防变形加工工艺。

### 结束语

大型薄壁零件防变形加工工艺主要从整体材料加工出成品,有合理的防变形工装夹具参数、防变形工艺安排和程序编制策略。其目的是减少薄壁结构件变形量,提高加工质

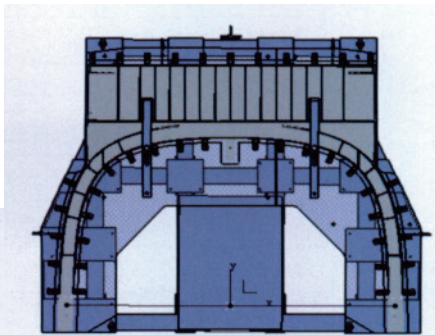


图10 正面精加工示意图

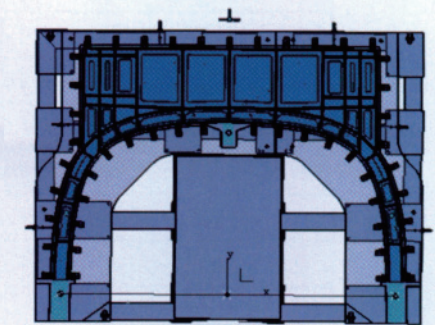


图11 反面精加工示意图

表2 铝合金材料的薄壁型机加框在SIEMENS系统中的加工工艺参数

刀具直径/mm	刃长/mm	刃数z	转速/ $(r \cdot \min^{-1})$	进给速度/ $(mm \cdot \min^{-1})$	切削深度/mm	切削宽度/mm	加工部位
$\phi 40R0$	40	2	15000	3800~4500	0.5	35	超上下表面
$\phi 28R3$	75	2	15000	1500~4500	4	20	粗加工内形
$\phi 20R3$	60	2	15000	1200~4500	4	13	粗加工底面
$\phi 16R8$	60	2	16000	2100~3200	3,0.2	3,0.2	粗加工前端和外型面
$\phi 12R4$	40	4	16000	1200~2400	2	2	半精和精加工内形侧面
$\phi 12R0$	40	4	16000	1200~2400	0.5	8	精加工内形底面
$\phi 25R0$	40	2	17000	1200~4500	4,0.5	5,22	粗精加工外形和底面
$\phi 10R4$	40	2	16000	1200~2700	2	0.3	精加工内形清角侧面
$\phi 8R4$	40	2	16000	1000~2100	3,0.2	3,0.2	精加工内型侧壁面和底面
$\phi 6R3$	37	2	12000	960~2000	0.2	0.2	清根 R3 外型前端面

表3 具体的防变形加工工艺

工艺流程	加工内容说明	工艺解决变形办法
粗加工第一面	坐标原点 $Z_0$ 为方料右上角上表面(图 8)	下料和粗加工一起考虑,这样既释放了零件的变形内应力,又不切断外形,在翻转时可减少零件变形
	分层粗加工各腔,底留 2.5mm,侧面留 2mm,用 $\phi 28R3$ 铣刀	
	精加工各腔底面,底留 2mm,侧面留 2mm,用 $\phi 20R3$ 铣刀	
	加工 3-M16 吊环孔底孔 $\phi 14$ , $\phi 14$ 钻头,攻丝	
	用 $\phi 11.8$ 钻头钻 3- $\phi 12H7$ 定位初孔,后铰至 $\phi 12H7$ 精度孔	
粗加工第二面	坐标原点 $Z_0$ 为两 $\phi 12H7$ 中心连线下表面(图 9)	坐标原点选择零件两孔中心连线下表面,保持零件对称加工,均匀去掉每个型腔的量;对每个型腔底面进行精加工,目的是安装第一个真空夹具作为底面精确定位;然后做时效处理
	分层粗加工各腔,底留 2.5mm,侧面留 2mm,用 $\phi 28R3$ 铣刀	
	精加工各腔底面,底留 2mm,侧面留 2mm,用 $\phi 20R3$ 铣刀	
	分层精加工各小腔,底留 2mm,侧面留 2mm,用 $\phi 8R3$ 铣刀	
	加工外侧外形,留 3mm,用 $\phi 25R0$ 铣刀	
精加工第一面	坐标原点 $Z_0$ 为 2- $\phi 12H7$ 孔中心连线上表面(图 10)	在调整夹具上零件正确位置的同时,确定变形量,必须用测量表头测量每个腔的底平面是否完全吸附在夹具上平面,完全吸附后,才能进行下一步的加工;先加工外形,同时调整内形加工量,在这次装夹中把所有能加工的工序都加工完成,再把 3 个定位孔 $\phi 12H7$ 扩至 $\phi 20H7$ ,人为降低定位孔的上下偏差;加大调整范围,为零件在第二面真空夹具上加工定位调整带来方便
	插上 3 个定位销,真空完全吸附下,不压压板;超立筋上平面到 $70_{-0.1}^0$ mm,用 $\phi 40R0$ 盘铣刀	
	半精加工和精加工外侧外形,用 $\phi 25R0$ 铣刀	
	半精加工和精加工内侧外形,用 $\phi 25R0$ 铣刀	
	半精加工和精加工前端外形,用 $\phi 16R8$ 铣刀	
	精加工前端外形清根,用 $\phi 6R3$ 铣刀	
	分层加工半精加工和精加工各内腔侧壁,用 $\phi 12R4$ 铣刀	
	精加工各腔底面,用 $\phi 25R0$ 铣刀	
	加工小腔底面用,用 $\phi 12R0$ 铣刀	
	精加工各腔清根,用 $\phi 10R4$ 铣刀	
	钻两侧 18 个孔	
	用 $\phi 19.8$ 钻头钻 3- $\phi 20H7$ 初孔,后铰至 $\phi 20H7$ 精度孔	
精加工第二面	坐标原点 $Z_0$ 为 2- $\phi 12H7$ 孔中心连线下表面(图 11)	因为在第一面上,已把所有的部位加工完成,在反面夹具上只加工零件的内型腔,为加工调整变形量带来方便;在加工前,必须用找正效验程序确定零件正确定位,同时确定变形量,这个程序非常重要,它是反面零件加工前调整至正确位置的效验程序,如果定位有偏差,继续调整,同时确认变形后的尺寸,然后再进行防变形的加工,利用加刀补 G41、高速切削带走大量切削热的方式,调整零件热变形
	加工前找正效验程序,侧面留 1.5mm,用 $\phi 25R0$ 铣刀	
	半精加工内腔底面,底留 0.5mm,用 $\phi 25R3.2$ 铣刀	
	半精加工和精加工各腔内形侧壁和下陷,用 $\phi 12R4$ 铣刀	
	精加工各腔底面,侧面留 1mm,用 $\phi 25R0$ 刀具	
	加工前端小腔和 2 个三角腔内形侧壁,用 $\phi 8R4$ 铣刀	
	精加工各腔清角,用 $\phi 10R4$ 铣刀	
	分层半精加工和精加工外形下陷用 $\phi 8R4$ 铣刀	
	钻零件上的孔	
	切断中间定位凸耳,用 $\phi 25R0$ 铣刀	
分层切断两侧定位耳,用 $\phi 25R0$ 铣刀		

量。其中防变形两套夹具三孔调试方法,用找正效验程序来快速确定零件在工装上的正确位置,去除零件在

加工中产生的变形量的方法,在仿真优化加工程序下,经过实施验证,防变形工艺合理,操作简便,能够满足

产品质量要求。此工艺适合批量生产。

(责编 夏宛)