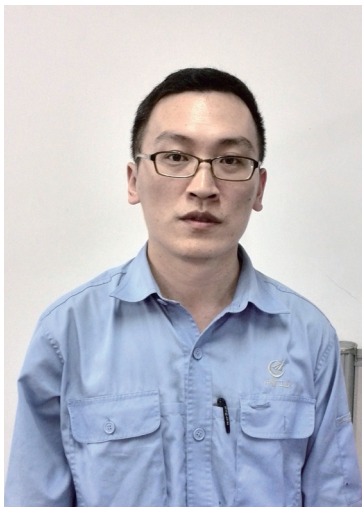


# 角度头在发动机薄壁钢机匣件加工中的应用

## Application of Angled Head in Machining Thin-Walled Steel-Casing Part in Aeroengine

中国南方航空工业(集团)有限公司 梁松山 李克 孙世伟



梁松山

中国南方航空工业(集团)有限公司主管工程师,主要从事飞机发动机数控加工技术,重点研究钢机匣零件精密加工方向,发表论文数篇,多次获科技攻关奖励。

角度头技术在航空、汽车领域的高精度加工中应用越来越广泛,主要用于机械加工中心和龙门铣床,其中轻型角度头可以装在刀具库中,并可以在刀库和机床主轴之间自由转换;中型及重型角度头拥有较大的刚性和扭矩,适用于大部分加工。

角度头是在数控加工中心上应用的一种附件头,机床安上角度头后,刀具旋转中心线可以与主轴旋

角度头是在数控加工中心上应用的一种附件头,机床安上角度头后,刀具旋转中心线可以与主轴旋转中心线成角度加工工件。使用角度头,无需改变机床结构,就可以增大其加工范围和适应性,使一些用传统方法难以完成的加工得以实现,是唯一可以不需要二次装夹工件来完成侧面加工的一种附件。特别是一些圆孔,行腔内进行钻孔、铣槽、铣凸台时,角度头是必不可少的工具。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.12.074

中心线成角度加工工件。使用角度头,无需改变机床结构,就可以增大其加工范围和适应性,使一些用传统方法难以完成的加工得以实现,是唯一可以不需要二次装夹工件来完成侧面加工的一种附件。特别是一些圆孔,行腔内进行钻孔、铣槽、铣凸台时,角度头是必不可少的工具。

本文将对带有沟槽结构的航空发动机薄壁钢机匣件中角度头技术的工作原理、结构特征、程序设计等进行探讨。

### 工作原理及特征

#### 1 角度头工作原理

角度头技术是蜗轮蜗杆传动,特

别适合倾斜孔和轮廓的加工。根据不同的使用要求,刀具制成固定角度的、轴向或圆周方向可以任意调节的多种规格。固定角度的角度头刀具刚性比较好,但应用场合比较单一;任意调节的角度头刀具可以根据使用场合和不同的加工要求随意更改角度,但刚性不是很好,调节出来的角度有时会产生偏差。

#### 2 角度头分类

角度头按输出情况可分为4类:单输出角度头、双输出角度头、立卧两用角度头和万向角度头。

而根据加工情况,又可分为轻型、中型和重型3类。轻型角度头重量轻(一般5~15kg)、精度高、扭矩

偏小,可进刀库自动换刀,在机床上用定位块定位,输出一般为筒夹或BT30 锥柄;中型角度头重量中等(一般 15~20kg)、精度高、扭矩中等,此类角度头同时拥有轻、重型角度头的优点,精度比重型角度头高,加工范围比轻型角度头广;重型角度头重量重(一般 50kg 以上)、精度一般、扭矩大,一般只用于龙门铣,与机床用连接盘固定及锁紧,支持任何类型输出加工。

### 3 选型要点

角度头选用一般按 3 个步骤进行:首先明确机床参数:型号、立式/卧式、主轴类型、主轴扭矩( $N \cdot m$ )、最大主轴转速、最大刀具承载重量、刀库类型、是否自动换刀、机床其他尺寸、工件尺寸;然后需核对角度头参数:刀具夹持方式、转速( $r/min$ )、扭矩、角度头的外形尺寸,以确认是否干涉等;最后根据各品牌同类型角度头进行重量参数(同心度、转速、扭力、材质、齿轮比、直角度)、性价比等比较分析。

## 角度头在发动机零件加工中的应用

### 1 发动机零件特点

如图 1 所示,涡轮机匣是某型航空发动机涡轮部位的重要部件。其材料为 GH2132,成品呈环形,大端直径 674.8mm,小端直径 605.5mm,总长 221.8mm,平均壁厚约 2.8mm,硬度 30HRC 以上。零件内部有 3 组(6 排)榫槽,每一组分别有 23~27 个宽为 18~25mm ( $+0.1, +0.25$ ),深约 2~6mm 的斜槽。

### 2 存在的加工问题

#### 2.1 工序多,变形大

采用非标普通铣床加工,因空间尺寸较多,加工和检验均较为繁琐,该零件加工共涉及 34 道机加工序。受材料特性与零件结构制约,导致涡轮机匣机加中易发生装夹、加工变形,同时振刀、让刀严重,特别是榫槽



(a) 零件



(b) 沟槽

图1 带内部沟槽的涡轮机匣

加工工序中,这些问题较为突出。

#### 2.2 刀具磨损严重

目前,车间加工该零件榫槽使用的是一台改造过的非标普通铣床,如图 2 所示,加工时有振动现象,刀具磨损严重,加工一件零件需更换 6~8 把刀具,且导致加工表面粗糙度差,有些应力集中部位存在裂纹隐患。



图2 现用于加工榫槽的非标铣床

零件共有 6 级榫槽,每级榫槽由于位置和角度不同,加工时每级均需要一套相应的铣工夹具配合加工,共 6 套夹具(见图 3),故加工时需不断更换夹具。由于零件和夹具体积都很大,导致操作者固定和定位零件时,非常不便,劳动强度大,且存在安全隐患。

#### 2.3 加工周期长(24h/件)



图3 加工榫槽工序所需的大型铣工夹具

夹具经过多年的使用,已存在不同程度老化和磨损,且由于夹具非常复杂,每次送检和维护所用时间都很长。这就导致零件的加工周期被动延长,在生产任务大幅增加的情况下,已无法满足生产需要。

### 3 角度头技术应用试验

#### 3.1 设备选型

(1) 优化加工方法。采用图 4 所示的五轴四联动数控机床和角度头进行加工。本文应用单输出角度头,该类型角度头较为常见,刚性较佳,适用广泛,性价比较高。



(a) 内部



(b) 外观

图4 带角度头的五轴加工中心

(2) 选择合适的角度头。根据机床参数、零件结构以及角度头特点,综合考虑后,选择单输出中型角度头。零件装夹方式如图 5、图 6 所示。通过配合,该机床可达到五轴四联动。根据不同工序加工部位的汇

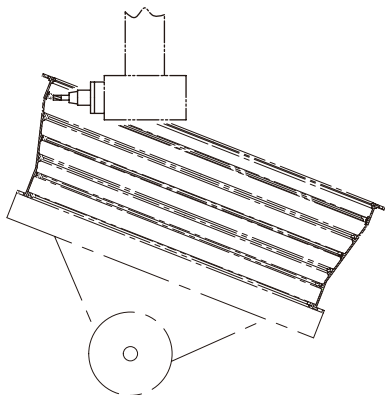


图5 加工示意图

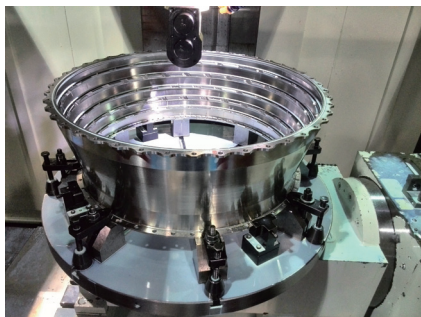


图6 夹具

总分析,应尽量保证一次装夹加工多处尺寸,并将零件垫高,避免干涉。

### 3.2 加工程序设计

根据零件结构特点,结合角度头与机床的配型应用,编制加工程序:零件有3组槽,每组分别设定加工原点(G54/G55/G56),每组槽至支靠面的高度设为H1、H2、H3,每个零件加工前要按图7进行原点调整。

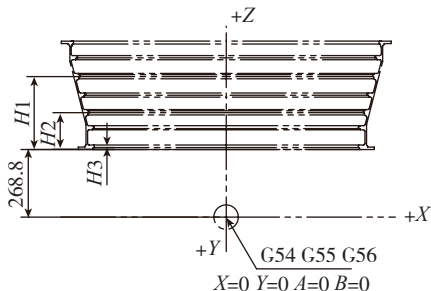


图7 零件加工的原点调整说明

最终加工程序代码节选(G55段):

```
(-----G55-----)
(T1 HJXD D=16.)
N35G91G0G28Z0.
N36G55G90G00A0B0S400M3
```

```
N37G17
N38G0X0Y100.
N39A-11.5B-5.417
N40G0Z550.
N41#1=0
N42WHILE[#1LT25]DO2
N43#2=-14.4*#1-5.417
N44G00A-11.5B#2
N45G0X0Y150.
N46G18
N47G1X-26.2039Z444.4314F8000
N48G1Y203.503F3000
N49G1Y208.503F200
N50G1G42D1X-25.0482Z442.7991F62.
N51G1X-12.787Z425.482
N52G1X-1.9808Z410.22F1000.
N53G1X16.2123Z384.5249F62.
N54G1X21.0638Z377.6729F1000.
N55G1X25.3296
N56G1X27.3646Z379.1138
N57G1X12.5025Z4 00.1044F62.
N58G1X-1.5769Z419.9893F1000.
N59G1X-13.2442Z436.4677F62.
N60G1G40X-14.3999Z438.1F160.
N61G01Y150.F8000
N62#1=#1+1
N63END2
N64G0Z550.
N65M5
N66M9
N67G91G0G28Z0.
N68M0
```

特别说明,该零件加工采用的是 $\phi 16\text{mm}$ 整体硬质合金铣刀,由于零

件硬度高,加工去余量很大,平均加工一个零件需消耗1.5把刀具,且受零件结构刚性及机床本身性能限制,为防止零件变形和加工振刀,加工转速一般采用400~500r/min。

### 3.3 加工效果

改用角度头配合五轴加工中心进行榫槽的数控加工,由于去除余量均匀稳定,基本杜绝了零件因加工应力产生的变形,尺寸精度高,同时大幅降低了榫槽的表面粗糙度值,加工质量显著提高,较好地满足了发动机的使用要求。

总之,选择合适的刀具、采用合理的装夹方式、三组槽一次加工、涡轮机匣榫槽几道数控铣工序合并,减少了准备时间,大大提高了零件加工效率与质量,合格率提升至98%以上,工序加工周期缩短一半,由从前的24h/件缩短到约12h/件。

## 角度头技术优势

### 1 加工优点

涡流机匣榫槽采用五轴四联动数控机床和角度头加工,可将榫槽工序合并为一道,可省去专用铣工夹具的繁琐使用,完全由数控机床五轴联动加工,仅用一套简单夹具即可替代原有6套夹具,减少零件反复装夹准备的时间,保证了零件的加工质量,节约了成本,生产效率提高1倍。

### 2 推广应用

(1)角度头技术用于小直径内腔加工。如图8所示,在某发动机的

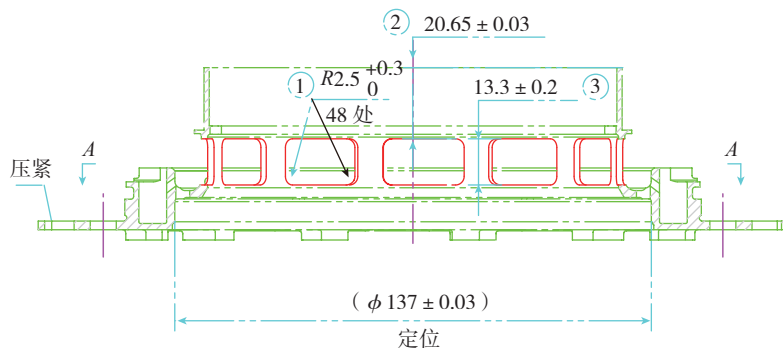


图8 零件加工的原点调整说明

(下转第79页)

布置了许多进出滑油箱和连通燃、滑油附件的管路,这些管路为空间复杂结构,多处有交叉、分支与盘旋,部分沿机匣外壁分布,部分伸入到机匣内部。机匣的内部结构是否准确,管路的布置是否合理,管路及腔体的壁厚是否合适,给机匣设计和加工带来了很大的困难。完成初步设计之后,需要找一种快速有效的手段对设计结果进行检查与评估。与此同时,该附件传动机匣的铸造难度大、成本高、周期长,需要投入大量人力物力。故在正式投产前,承制厂也要求设计人员尽可能保证设计的正确性,以避免或减少时间和成本的浪费。基于上述问题,采用快速成形技术对初步设计的零件模型成形,检验设计质量,排查设计问题。

快速成形高度柔性的制造特点,解决了零件复杂的问题。将复杂的三维实体离散成一系列二维层片进行加工,避免了三维加工中刀具干涉的问题,可以制造具有任意复杂形状与结构、不同材料复合的原型或零件。同时,快速成形技术是建立在高度技术集成的基础之上,从产品CAD模型制成零件,一般只需要几个小时到十几个小时,具有生产周期短的优点。因此,快速成形技术可以承担检验设计模型正确性的角色,而且适合小批量生产、成本较低。

分析表1中的各种快速成形方法,其中的激光粉末烧结(SLS)快速成形方法,成形头为激光,成形机理是粉末材料的烧结成形。具有速度快、强度高、无需支撑的特点,且国内技术比较成熟。因此在本应用实例中选用该方法进行快速成形,模型离散方向选该零件的轴向,以一定的厚度依次成形离散后的各个分层截面,成形之后进行后处理,使得成形强度显著提高。

通过对快速成形模型的研究,对比检验各设计特征,取得了良好的应用成果,发现了原设计中一些需要改

进完善之处:

(1)通过解剖快速成形模型,检查附件传动机匣中管路的布置,确认管路设计基本合理,管路布置符合设计意图,但部分管路需微调位置;

(2)检查管路的壁厚和腔体的壁厚,铸件整体壁厚设计 $\geq 5\text{mm}$ ,发现快速成形模型部分腔体的壁厚只有3~4mm,需修改完善;

(3)某些管路在局部区域悬空在机匣内,而没有依附或内嵌在机匣中,这些管路与机匣的依托关系需进行调整;

(4)部分特征铸造工艺性较差,需要改进。

## 结束语

通过在航空发动机附件传动机匣设计制造过程中应用快速成形先进制造技术,发现了传动机匣初步设计中存在的问题,为完善传动机匣设计发挥了重要作用,丰富了复杂发动机零件的设计验证手段。航空发动机是技术密集、结构复杂的工业产品,快速成形作为先进制造技术的一种,在发动机其他零部件设计和制造中的应用有待于进一步的研究和探讨。

## 参考文献

- [1] 王广春. 快速成形与快速模具制造技术及其应用. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 朱林泉,白培康,朱江森. 快速成形与快速制造技术. 北京:国防工业出版社,2003.
- [3] 王学让,杨占尧. 快速成形理论与技术. 北京:航空工业出版社,2001.
- [4] 周建忠,刘会霞. 激光快速制造技术及应用. 北京:化学工业出版社,2009.

(责编 一帆)

(上接第76页)

弹性支承上加工侧面矩形窗口,材料TA19,加工部位外部有阻挡干涉,只能由内向外加工,且由于直径较小,必须采用轻型角度头才能伸入内腔加工。

(2)角度头技术用于内腔凸台

加工。如图9所示,在某发动机的涡轮机匣前段加工内腔凸台,受凸台与内圆面垂直因素影响,凸台根部 $R0.2\sim R0.5\text{mm}$ 转接圆弧过小,只能采用角度头技术加工。

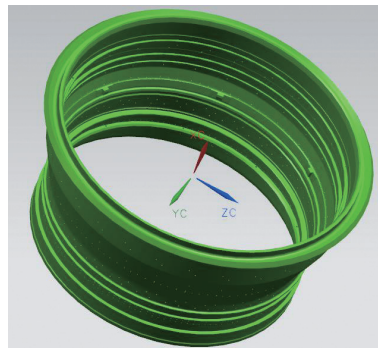


图9 零件加工的原点调整说明

## 3 使用注意事项

在角度头使用过程中,应注意:

(1)一般角度头均采用非接触式油封,在加工中若使用冷却水,需要在喷水前先运转,并调整冷却水喷嘴方向,朝刀具喷水,避免冷却水渗入本体,延长寿命;

(2)避免长时间在最高转速持续加工运转;

(3)使用前,需先确认试运转数分钟热机。每次加工时,需选择适当的转速和进给量。加工时的转速、进给量与切深应以渐进方式做调整,直到获得最大加工效率;

(4)采用标准角度头加工时,需避免加工中产生灰尘、微粒的材质(石墨、碳等)。

## 结论

(1)角度头作为一种机床附件,无需改变机床结构,即可扩大加工范围和适应性,使一些用传统方法难以完成的加工得以实现,并减少零件重复装夹次数,提高加工精度和效率。

(2)通过对发动机涡流机匣榫槽加工分析,实现工序合并,装夹简单、方便,提高1倍的加工效率。可见,角度头技术尤其适用于带沟槽的薄壁机匣类零件的精密加工。

(责编 玲犀)