

燃烧室前端机匣铣加工工艺研究*

许万军¹ 陈庚² 王东¹

(1、西安西航莱特航空制造技术有限公司 陕西 西安 710021 2、北京华大深蓝航空科技有限公司 北京 100000)

摘要 燃烧室前端机匣为航空发动机的主要部件。传统机匣加工工艺具有加工时间长、工艺复杂、刀具易磨损等特点。文章提出一种改善的机匣加工工艺方法。该方法根据机匣零件内外型的结构特点、结合生产现场环境,选择合适的机床与刀具、确定合理的加工方式并利用数控加工编程软件(UGNX)编制高效合理的加工程序。相较传统的机匣加工工艺,文章提出的工艺可有效降低机匣加工时间、减少加工成本。

关键词 数控加工工艺 机匣加工 刀具选择 加工策略

1 绪论

燃烧室前端机匣作为航空发动机的重要零件,其内部连接燃烧室、高压涡轮导向器前支撑、鼓筒轴。其外部连接包括油管、冷却管、控制器在内的各种附件。机匣具有外形复杂、壁薄、材料难加工和尺寸精度高等特征。机匣制造加工的材料切除率达到30%以上,加工工艺复杂,涉及多轴联动数控机床、多轴联动CAM编程技术、刀具技术等^[1]。在数控加工生产环节,数控程序是最能发挥效益的环节,因此提高编程效率和编程质量,是缩短生产周期,提高产品质量的重要手段。优秀的数控程序编程可提升加工效率和机床的利用率,提升刀具寿命,进而降低成本并提升企业的竞争力。目前机匣生产所采用的加工工艺和数控程序存在耗时长,材料去除率低,刀具磨损大的问题,给产品的试制加工带来一定难度^[2]。为了更好地完成机匣交付任务,为后续其他机匣零件加工奠定技术基础,需要进行机匣数控铣加工工艺研究。



图1 机匣零件三维模型



图2 机匣零件部分尺寸精度(单位:mm)

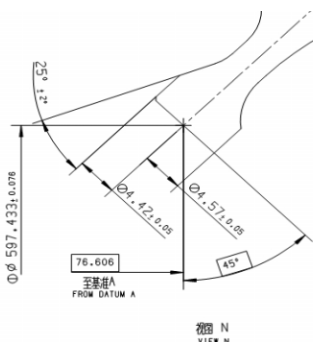
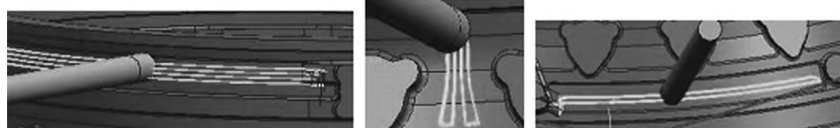


图3 多轴联动粗铣外型的轨迹



(a)粗加工上端

(b)粗加工凸台中间

(c)粗加工下层

2 机匣零件结构特点及材料特性

2.1 机匣零件结构分析

燃烧室前端机匣,分为外型(外壁)和内型(内壁)两个区域。零件最大外径 $\Phi 804\text{mm}$,总高294mm,最小壁厚3.81mm,小端内部有一个焊接定位止口,外型分上中下三层,各层有不同形状的岛形结构,零件内部有相应的T型槽和环型槽(如图1)。

2.2 精度分析

机匣零件为加工过程的中间件,后续还需进行组装焊接加工。其主要配合尺寸为小端内侧的焊接止口,尺寸精度要求高(零件图形及几何尺寸见图2)。止口直径尺寸均为 $\Phi 597.433 \pm 0.076$,同时有理论点到两侧的厚度控制尺寸 4.42 ± 0.05 、 4.57 ± 0.05 。外型凸台轮廓度0.76。

由此可见,该零件是一个局部尺寸精度要求高的零件。

2.3 材料分析

该零件毛坯选用了优质三次熔炼的镍基高温耐热合金 IN-C0718,采用模锻方式。优质三次熔炼的镍基高温耐热合金 IN-C0718 是一种强度很高、硬度较高、高温条件下强度优良的镍基合金。材料粘性大,加工中不宜断屑,导热性能较差,在切削加工过程中会产生很大的切削抗力和大量的切削热。若散热条件不好,刀具的磨损会很严重。

3 工艺研究

3.1 传统加工工艺分析

3.1.1 外型粗加工工艺分析

机匣外型结构复杂,分上中下三层不同形状的岛形结构。传统加工方式采用多轴加工,具有工序集中的特点。为了保证同一刀具进行各区域的粗加工,限制了刀具直径上限,刀具选用直径25mm铣刀。为高效去除零件余量,选用了大进给刀具。编程方式采用多轴联动,并进行分层加工。

传统外型加工存在的问题:在五轴加工中心上,采用两刃的直径为25毫米的大进给刀具对零件进行粗加工,轨迹为多轴分层加工,走刀路线长,如图3。因刀具只有两个刀刃,导致去除材料的效率较低。同时编程采用五轴联动的方式进行变轴铣加工,机床刚性差,加工中出现较大的振动,容易导致刀具损坏。零件材料难加工,在45号钢假件上进给可达到300毫米每分,但在IN-C0718正式件上进给只有50毫米每分,在实际加工中效率低。

3.1.2 外型精加工工艺分析

外型精加工通常是在五坐标加工中心上进行,使用球头铣刀,切削行宽小,加工路线长,加工效率低,如图4所示。

3.1.3 内型T型槽加工

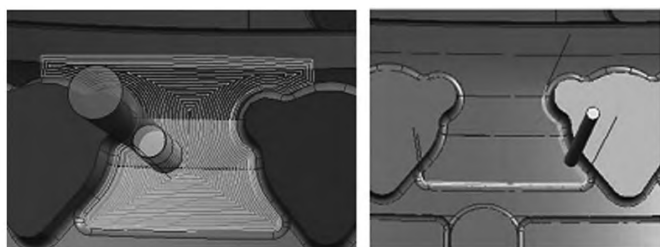
内型T型槽的加工,如图5所示,采用球头刀,效率低,成本高,每个T型槽用一个球形刀头,无法重复使用。

3.1.4 内型环形槽加工

机匣内型环形槽的粗加工全部是在四坐标加工中心上进行,如图6所示。铣削使用角度头,如图7。因切削力大、角度头刚性差,导致加工中振动大,易使角度头故障,同时加工效率低。

3.2 优化数控铣加工工艺

* 基金项目: 本文由“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项课题: 与工艺融合的高端多轴加工工艺与编程方法研究(编号: 2013ZX04007-041)支持。



(a)凸台间精铣 (b)清根
图4 外型精加工

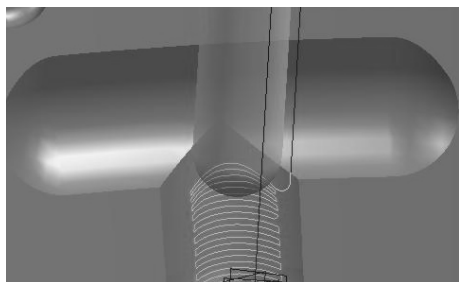


图5 球头刀粗加工T型



图6 内型环槽

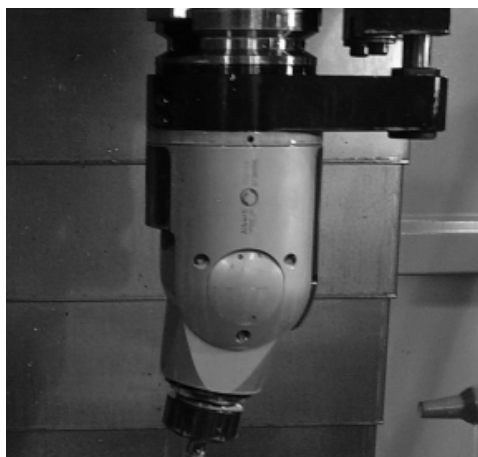


图7 角度头

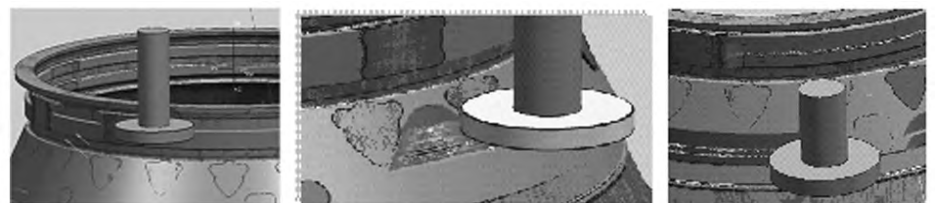
3.2.1 外型铣粗加工工艺优化

方案一 外型铣粗加工改进:由于车间五轴机床数量有限,故增加粗铣加工工艺,在三坐标加工中心上使用盘铣刀进行粗加工,去除大余量,如图8、图9所示。

编程方法在NX CAM中的采用固定轴曲面轮廓铣^[2],驱动方法可以采用曲线驱动方法,根据零件结构构建驱动曲线,刀具轴设置为Z轴,投影矢量定义为朝向零件轴线。在切削参数设置多层切削,逐层切除零件上一定体积的材料。

方案二:有五轴机床且可重型切削时可采取以下加工方法进行粗加工。

外型凸台间粗加工可采用插钻方式进行加工,插式加工也称钻铣加工或直捣式加工,这是材料去除率最高的铣加工方法。为获得最佳的稳定性,采用较短的可转位钻头。编程方法采用NX CAM中



(a)盘刀粗加工上层 (b)盘刀粗加工中层凸台间 (c)带角度盘刀粗加工下层型面
图8 盘刀粗加工

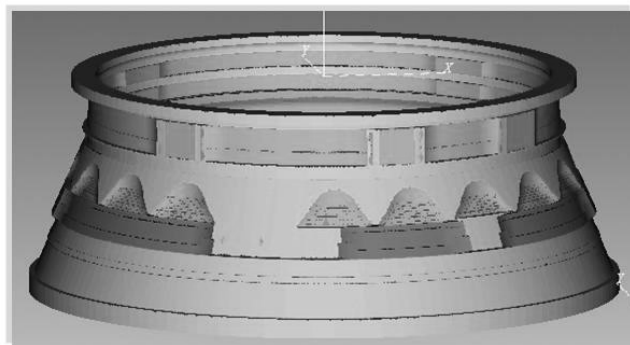
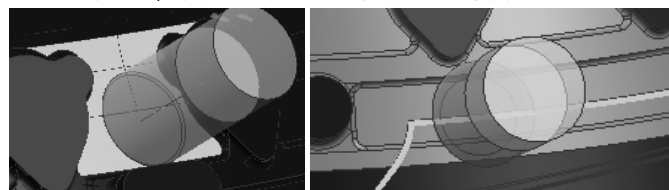


图9 盘刀粗加工效果

的固定轴曲面轮廓铣,使用曲线驱动,驱动曲线垂直于零件表面的辅助线,利用零件表面偏置检测面来确定加工深度,刀具轴设置为与辅助线一致,如图10a。

零件上下两层凸台间采用层铣加工方式,可采用陶瓷刀具高效去除余量,根据零件结构确定刀具直径,尽可能采用一次走刀去除最大余量,避免往返走刀,减少刀具路线长度,可以有效缩短加工时间。编程方法采用可变轴曲面轮廓铣,驱动方法可以采用曲线驱动方法,刀具轴设置为垂直于零件,投射矢量为垂直于驱动,切削参数设置多层切削,如图10b。图11为零件加工效果图。



(a)插钻方式进行加工 (b)层铣加工
图10 外型精加工



图11 外型精加工

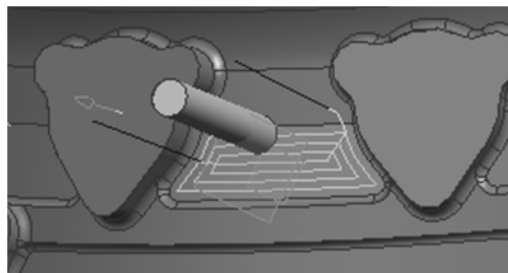


图12 外形精加工改进效果

3.2.2 外型精加工优化

加工外型凸台间型面时球头刀加工路线长,为提高效率采用普通端铣刀替代球头刀,刀尖R应与零件凸台根部一致。合理规划路径,减少空走刀,尽量缩短轨迹长度。对于空间曲面和变斜角轮廓外形加工,在保证不干涉和工件不被过切的前提下,无论是曲面粗加工还是精加工,都应优先选择平头刀或圆角刀加工,如图12。

(1)优化加工路线,如图15所示。编程方法采用可变轴曲面轮廓铣,驱动方法采用曲线驱动,刀具轴设置为垂直零件和投射矢量为垂直于驱动,如图13。

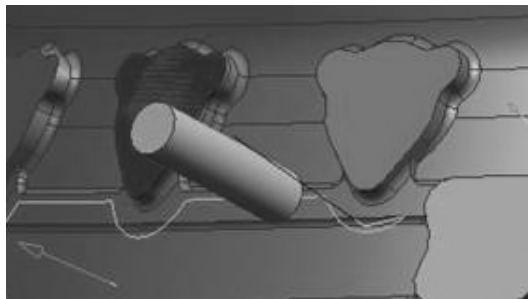


图13 外型精加工改进效果

(2)采用直径20陶瓷刀具对凸台周边进行加工,转速8000转,走刀量1000毫米/分,加工效率是硬质合金刀具的4倍。编程方法采用可变轴曲面轮廓铣,驱动方法为曲面驱动,刀具轴设置为垂直于凸台上表面,如图14。

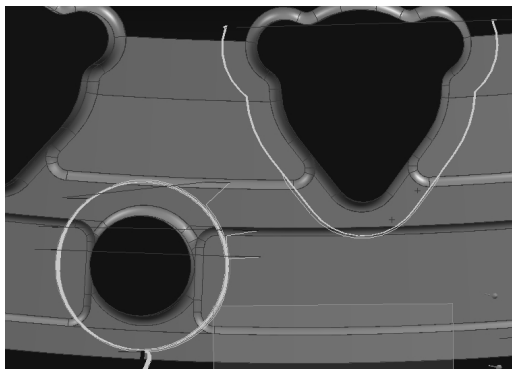


图14 陶瓷刀加工部位

3.2.3 内型铣加工工艺优化

内型T型槽面与机匣轴线成约24度的斜角,粗加工采用插铣方式,选用大进给铣刀。

编程方法采用固定轴曲面轮廓铣,驱动方法为区域驱动方法,刀轴设置为Z轴正向。切削模式为单向,步进长度设定为2-3毫米,如图15。

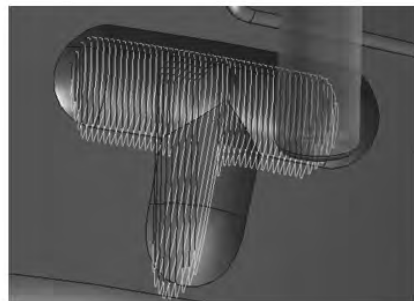


图15 内型精加工

3.2.4 内型环槽加工工艺优化

新工艺在三坐标加工中心上使用锥度与零件表面一致的盘铣刀去除大部分内型环槽的余量,并进行部分可达表面的精加工,如图16。

其后对未加工到的区域在五坐标加工中心上使用球头刀对环槽底部及两侧进行精加工和清根。采用长刀柄加延长杆在摆头-转台五轴机床上加工环形槽两侧上端,保证零件最终尺寸,如图17。若通过双摆头五轴机床,上述精加工可采用一把铣刀直接加工到位,效率会更高。

4 结束语

经过工艺优化,该机匣加工时间由180小时缩短至90小时,效率提升一倍,且降低了对五轴机床的依赖。提升了排产加工的灵活性和设备的利用率,进而降低了生产成本。

机匣加工选用合适的机床、刀具、同时结合编程软件编制合理的加工程序,可以有效的提升该类零件的加工效率。经过此次工艺优化,我们得出下述技术结论:

加工方案和机床选择:考察企业机床类型、数量和特性,在充分



图16 内型精加工

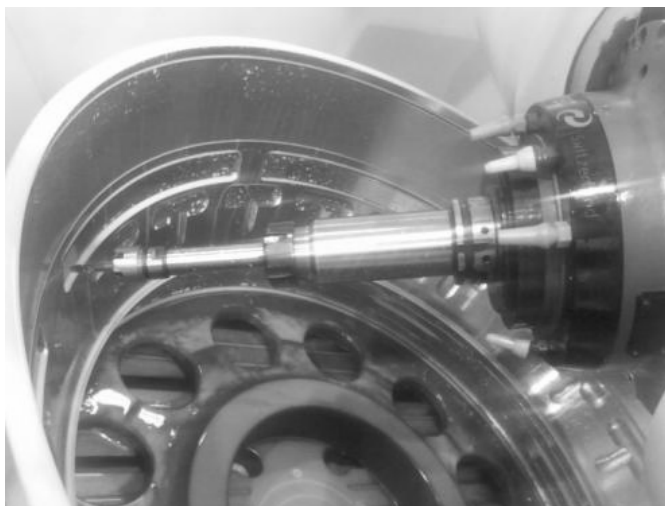


图17 内型精加工

研究精度和排产的情况下,不盲目追求一次装夹和高端机床。根据机匣被加工区域的特点选用机床,合理安排粗精加工,思路为使用三轴加工中心去除余量,五轴加工中心进行精加工,但不局限,适用为重。

刀具选择:充分考虑被加工区域的形状特征,选取刀具时,使刀具的尺寸与被加工表面的尺寸相适应,根据设备的功率和工件的加工尺寸尽量选择较大直径的刀具。球头刀仅出现在清根等其他高效刀具无法完成的加工区域。

编程方法:根据被加工区域的特征制定刀具轨迹,尽量采用走刀路线短的高效加工程序进行加工。

此机匣的工艺优化效果较为明显,可作为同类机匣加工工艺设计时的参考。

参考文献

- [1]王先逵.机械加工工艺手册(工艺基础卷)[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [2]张方瑞.UG NX 入门精解与实战技巧[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [3]任军学,龚子华,田荣鑫,等.航空发动机机匣五轴插铣加工[J].航空制造技术,2013.

作者简介:许万军(1975-08-),男,汉族,天津市武清区,工程硕士学位,现任西安西航莱特航空制造技术有限公司高级工程师,工艺室主任,研究方向为机匣加工工艺研究。