

航空发动机薄壁件工装与加工应力研究

■ 沈阳黎明航空发动机有限责任公司 (辽宁 110043) 赵西松

摘要: 在航空发动机薄壁零件加工过程中, 通过应用理论分析与试验验证的方法, 对工装的装夹、定位、支承以及零件的加工状态进行仿真模拟, 定性的分析零件的受力变形状态, 从而选取合理的定位、夹紧、支撑方式和最佳的夹紧、支承点, 增加零件的刚性, 保证工装结构的先进性, 为工装结构优化提供参考。



高级工程师 赵西松

工艺装备(简称工装)在航空发动机零件加工中起到重要作用, 但目前工装设计基本是设计人员凭经验设计, 工装设计结构的优劣因不同人员的技术经验和能力不同有很大的差异, 一般不对工装的强度、刚性及合理性进行验证, 特别对于薄壁零件, 工装在控制零件加工变形、减少加工振动和提高零件刚性等方面不能进行理论分析, 工装的结构满足不了工艺要求, 造成工装返修、报废, 甚至要改变工艺方法。本研究主要对夹具设计结构在变形控制、降低加工振动及增加零件加工刚性等方面进行系统的分析, 提升工装设计理念。

1. 零件数模处理

选用的发动机零件为薄壁机匣件(见图1), 最薄地方为2mm, 高度90mm, 高温合金材料, 在加工过程中存在振动、超差现象。

在正常的加工状态下, 零件是在均布的若干个压板作用下固定在定位件(工作台)上, 根据不同的加工部位有内侧支承或者外部支承, 以便在加工进行中减少振动, 从而提高加工精度。考虑到真实零件不平度造成的影响, 现场端面基准累积误差最大近0.06mm, 所以在零件下端制造0.06mm厚度差, 以模拟真实的实物状态, 如图2所示。

2. 工况因素分析

在零件加工过程中, 零件通

过下端面定位, 压板压紧, 内部采用橡胶软支承, 工装结构如图3所示。

考虑到零件结构的复杂, 在ansys中选择solid187四面体实体单元, 零件接触的定位件刚度要比零件刚度大的多, 故可采用弹性模量大的材料, 支承件为弹性材料, 应力应变具有高度的非线性。材料参数如表1所示, 模型划分网格如图4所示。

(1) 约束施加。零件下端面与定位件建立面面接触, 定位件

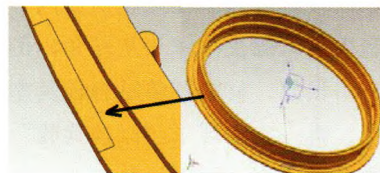


图2 零件模型

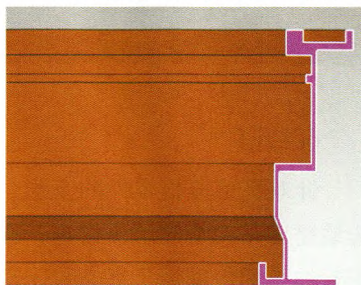


图1 零件截面图

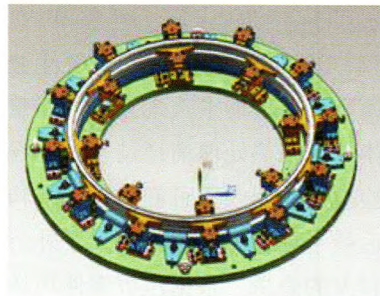


图3 工装结构图

表1 材料参数

参数名	零件	定位件	支承件
弹性模量/Pa	1.08e11	1e15	
泊松比	0.3	0.3	0.499
C_{10}			2e6
C_{01}			5e5

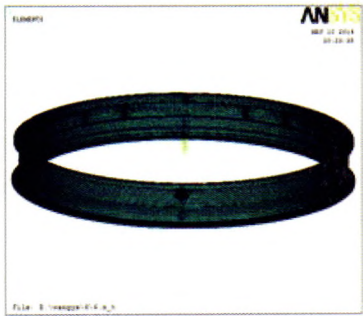


图4 网格划分

下端面施加全约束，从而满足正常装夹下的加工状态。工装对薄壁零件的内支承采用的是弹性支承件，故在ansys分析中将零件与橡胶建立面面接触。

(2) 切削力施加。零件在加工过程中，主要外力来自刀具的切削力。通过理论计算与现场切

削力采集，同时考虑刀具磨损造成的功率损耗，得到切削力参数如表2所示。

3. 分析结果与数据处理

(1) 正交分析。正交分析是从选优区全面试验点中挑选出有代表性的部分分析点来进行分析，它根据均衡分布的思想，虽然安排的是部分分析，却能够了解全面试验的情况。薄壁零件与工装的作用分析涉及四个因数：支承件数量、下压板个数、下压板面积及下压板压力，且切削外侧和内侧考虑的因数一样，故正交试验数是相同的。

选择 $L^9(3^4)$ 正交分析表，如表3所示，设定切削试验次数为9

表2 车削力修正后计算结果

F_c	F_p	F_f
1 202N	456N	336N

表3 正交分析工况组数

工况数	支承件数量	下压板个数	下压板面积/mm	下压板压力/MPa
1	24	12	10×70	28
2	24	12	10×80	32
3	24	16	10×90	36
4	12	12	10×80	36
5	12	12	10×90	28
6	12	16	10×70	32
7	16	12	10×90	32
8	16	12	10×70	36
9	16	16	10×80	28
10	24	16	10×80	28
11	12	16	10×90	36
12	16	16	10×70	32

次，同时还可以在9组正交数组的基础上，增加试验数组，提高计算的准确性。

(2) 分析结果。通过ansys结果分析，零件在切削力的作用下的位移云图和应力云图趋势一致，最大应力和应变都在切削位置，只是在数值上有所不同，如图5所示。

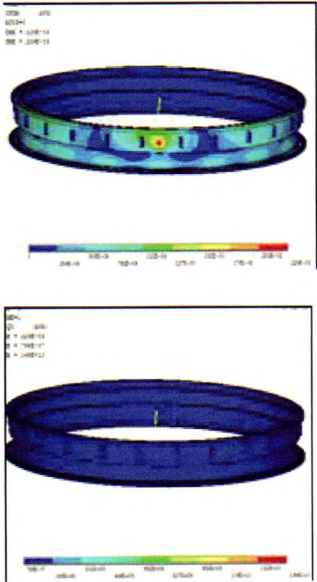


图5 工装下零件的位移与应力云图

载荷模型中，为了方便对分析结果进行对比，对进行切削的位置选在五个位置，在不平度的60° (a)、90° (b)、135° (c)、150° (d)和173° (e)。切削位置如图6所示。

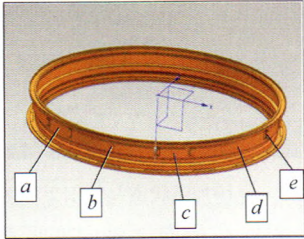


图6 切削内侧位置

为了方便选出合理的工装参数，将分析零件变形数据，用数据分析软件生成不同切削位置的变形曲线如图7所示。

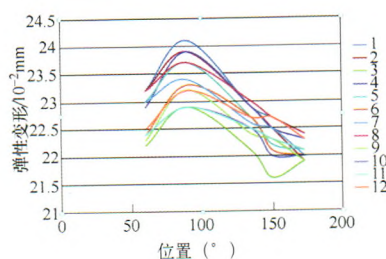


图7 数据拟合曲线

通过对合理工装选择准则（最大弹性变形量尽量小、不同位置变形量均匀）分析上图变形量曲线，第1、2、4、5、7和第8组零件的最大变形比较大，造成不同位置的变形变化量大，其他的试验组数基本符合合理工装选择准则。

4. 试验验证与结果对比

在机匣零件加工中，根据刀具运动轨迹情况，对实际变形数值进行采集，如图8所示。



图8 现场加工状态与数据采集图

零件在径向、轴向变形测量数据如图9、图10所示。

根据传感器标定的电压变化与位移变化的关系，计算出加工变形测量结果与理论计算如表4与

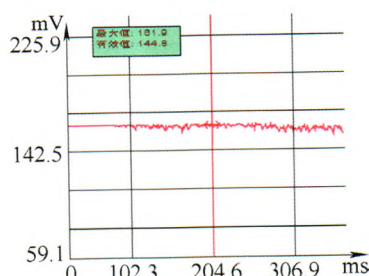


图9 径向变形量引起电压变化

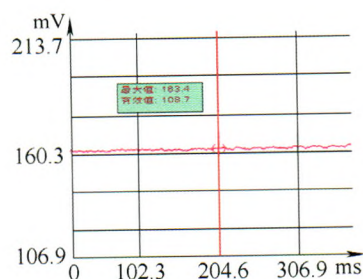


图10 轴向变形量引起电压变化

表5所示。

从表4与表5中可以看出，不管是径向还是轴向变形，其实际测量值与理论计算值之间的差距最大为0.008 75mm (3.375 - 2.500)，最小为0.005 71mm (3.411 - 2.840)，说明实验测量得出的数据与理论分析数据一致，是正确合理的。

表4 实验测量结果

变形方位	径向	轴向
应变(10^{-2} mm)	3.375	3.411

表5 有限元计算结果

变形方位	径向	轴向
应变(10^{-2} mm)	2.500	2.840

5. 结语

合理的工装参数对航空发动机薄壁零件的加工及其重要，本研究以机匣薄壁零件为载体，分析了工装设计中的定位、支承、夹紧的位置、数量、力的大小和作用力面积等因素对加工变形的影响，并通过试验验证了分析的正确性，为此类型零件的工装结构设计工艺加工参考，提供了重要依据。

参考文献:

- [1] 王聪梅. 航空发动机典型零件机械加工[M]. 北京: 航空工业出版社, 2014.
- [2] 《航空制造工程手册》总编委

会. 航空制造工程手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 1997.

- [3] KOJH, Altintas Y. Time Domain Modal of Plunge Milling Operation[J]. Machine Tools&Manufacture, 2007(47): 1351-1361.

MW (收稿日期: 20170803)

(上接第1页)

人输入的测量值，再编制防错语句判断工人输入值的正确性，若输入有误可提醒工人重新输入，起到防止工人出错的目的。

4. 结语

更加自动化、智能化和系统化的加工设备将会是未来工业发展的主流方向。我们应加强产、学、研和用的有效结合，探索基于机床-刀具-零件-工装形成的工艺系统，开展协同制造技术研究，实现工艺过程准确预测和精确调控，保障零件制造过程质量精度一致性和工艺过程的可控性。

参考文献:

- [1] 王聪梅. 航空发动机典型零件机械加工[M]. 北京: 航空工业出版社, 2014.
- MW (收稿日期: 20170726)