

基于 ANSYS 的天线座制造关键工序分析

邓学忠 李敦桥 陈荣耀 杨世明

(贵州航天控制技术有限公司, 贵州 550009)



摘要: 针对天线座加工过程中两个关键工序的编制主要凭经验, 没有进行量化的工艺难题, 采用有限元技术分析了装夹方式和夹紧力大小对零件加工变形的影响, 得到了基于有限元仿真分析的变形结果, 解释了以往加工定位基准选择及装夹合理的原因。根据分析结果, 提出了工序改进方法, 并给出了加工时对应位置的检测范围, 为工艺的编制和生产的顺利进行提供了有利依据。

关键词: 有限元; 模拟; 关键工序

Analysis of Key Working Procedures for ANSYS-based Antenna Mounting

Deng Xuezhong Li Dunqiao Chen Rongyao Yang Shiming

(Guizhou Aerospace Control Technology Limited Co., Guizhou 550009)

Abstract: In antenna mounting process, the organization of the two key working procedures mostly bases on experiences rather than on quantification. Finite element technology is adopted to analyze the influences of fixing manner and clamp power on machining deformation. The deformation results based on finite element simulation analysis explain the reason of eligible machining before. It put forward the improving methods of working procedure, and presents the examination range of corresponding position in machining, which provide available basis for technical organization and production .

Key words: finite element; simulation; key procedures

1 引言

工件在机床上的装夹精度是影响加工精度的重要因素, 20%~60%的加工误差是由装夹引起的。因此, 通过优化装夹方案来减小装夹引起的弹性变形是提高加工精度的重要途径。随着计算机技术和有限元理论的发展, 对加工过程的关键环节进行有限元仿真计算成为可能, 使工艺设计由经验判断走向定量分析, 加工工艺由技艺发展成为工程科学。在精密加工领域, 易变形壳体零件加工变形的控制是长期困扰技术人员的工艺难题。实际精加工时, 先通过千分表指针的变化, 估算夹紧力的大小, 再结合试切效果来调整夹紧力。这种方法不但生产效率低, 而且存在严重

的质量隐患。本文针对某型号壳体零件加工过程中, 受装夹变形影响明显的主要工艺环节, 采用有限元技术对装夹方式进行了分析计算, 为精密加工的实现提供了理论支撑。

2 工艺性分析

天线座是某型号位标器的重要零件, 主要的结构尺寸如图 1 所示。该零件的材料为铸铝 ZL104-T6, 属壳体类零件。零件的作用是通过六个凸台孔与轴配合, 构成转动副来实现设计功能, 因此六个孔的加工精度是工艺规程中必须重点考虑的关键工序。从图中可以看出该零件孔系的尺寸精度和形位公差要求高,

作者简介: 邓学忠 (1970-), 总工艺师, 机械设计和制造专业; 研究方向: 精密数控编程加工和精密装配调试工艺。

收稿日期: 2010-11-09

孔间的平行度和同轴度均要求在 0.02mm 之内, 孔系尺寸精度在 0.011mm 以内。本文以这六个孔在 5 轴数控机床上的精密镗削为分析对象。

总体上看, 零件在该工序的加工存在两个加工难点:

a. 设计图纸表明, 尺寸的设计基准为 M 面, 按照基准重合原则应该选该面为定位面, 但 M 面为不连续的圆环面, 机械加工后平面度会比较大。如用手工研磨的方式对该面进行精加工, 会由于零件结构导致操作困难。考虑到底面比较平整, 可以将基准转换到

下底面。转化后的基准加工时操作方便, 但基准平面面积比较大, 手工研磨也非常困难, 该工序的形状精度也不好量化。

b. 由于六个凸台是悬臂结构, 装夹底面时容易产生变形放大的效应, 导致装夹位置和加紧力的大小难确定。即使在装夹过程中用千分表大致测量变形量, 由于对零件各位置变形的情况不确定, 测量点的选择存在随意性。另外, 千分表只能测量一个方向的位移量, 而零件的实际变形方向通常多于一个。

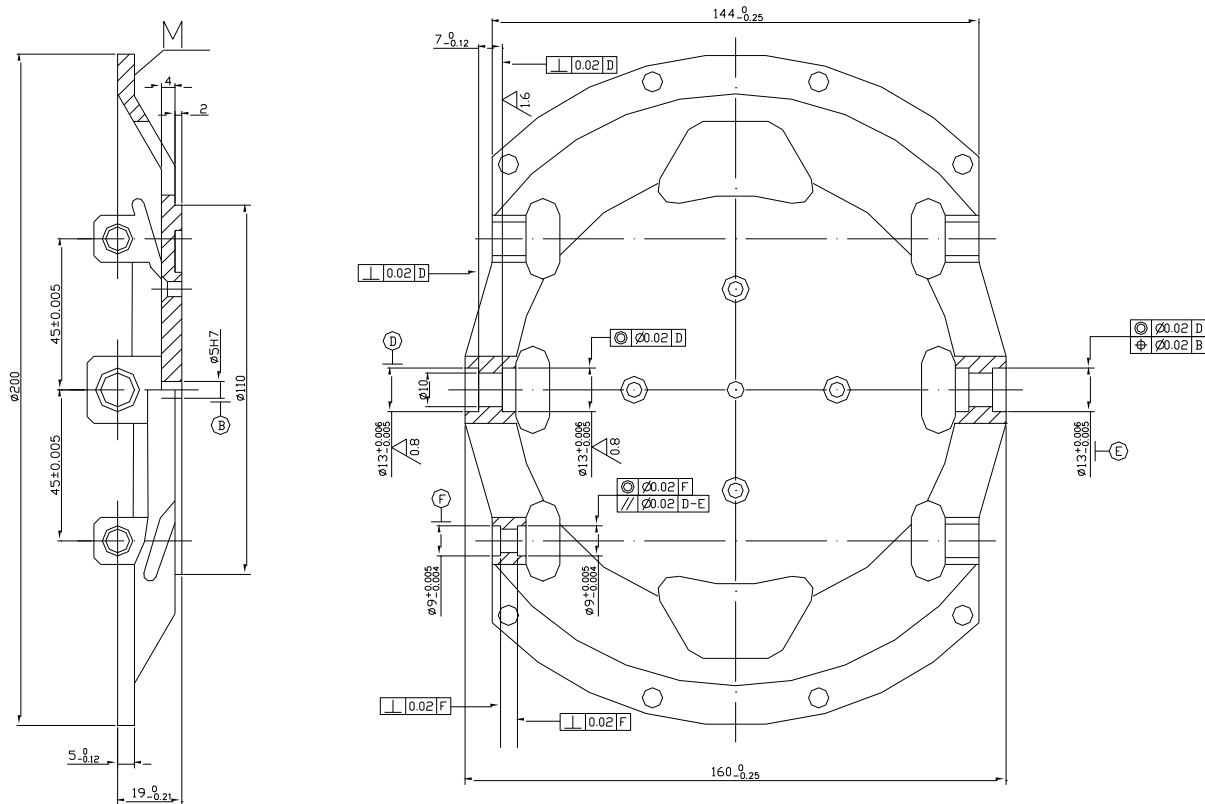


图 1 天线座结构示意图

由以上分析可知, 加工六个凸台孔的主要困难是定位基准加工时的精度难以确定; 零件各位置在受力之后的变形情况不明确。对于工艺人员来讲, 力与变形之间的关系已经超出一般意义上工艺编制的范畴, 因此需要求助于更加先进的分析工具。

3 有限元模拟

有限元法 (FEM) 作为一种通用的数值计算方法, 从 20 世纪 50 年代发展至今, 以其理论基础坚实、通用实用性强等优点, 被广泛应用于工程实际的数值仿

真。实现该方法的软件有 ANSYS、MSC/NASTRAN 和 ABAQUS 等软件, 本文选用目前较流行的 ANSYS 作为有限元分析软件。

3.1 夹紧力作用方式的选取

基准转换到下底面后, 常用一面两孔的定位方式, 夹紧力的作用面为内凹平面。压块是通过零件两侧的梯形窗口伸入, 调整好接触位置后用螺钉拧紧。由于空间狭窄, 夹具的结构非常简单, 尺寸比较小。目前可选的压块有以下三种: 通用压块、矩形头压块和弧形头压块, 其结构如图 2 所示。

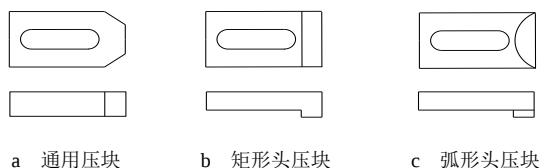


图2 三种压块的主视图和俯视图

通用压块可以直接选取和重复使用,但因为接触表面为铸造毛坯面,只有圆心附近经过粗加工,使用通用压块会导致边缘区域出现应力集中,局部变形过大。矩形压块可以避免边缘接触,直接选择比较平的表面压紧,但操作存在较大的随意性,导致变形量变化较大。

采用弧形头压块可解决上述问题。从设计图纸上看,定位面厚度为 6mm 且为自由公差,在安排工艺时,通过粗车凹面来保证厚度尺寸。由于粗车面积等于定位面的面积,而凹面面积大于底面面积,所以在凹面附近会留下圆弧阶梯。在压块上制造出曲率相同的圆弧与其接触,这样装夹起来更加便捷,也不会出现应力集中的情况。

3.2 临界位移值的确定

由于零件具有明显的对称结构,夹紧力施加也是对称的,所以只对一边的两个凸台结构进行变形分析。设计图纸表明,尺寸精度为 $10\mu\text{m}$,几种形位误差(平行度、同轴度、垂直度和位置度)的公差均为 $20\mu\text{m}$ 。为了满足零件的精度要求,必须对零件受力后不同位置变形的容易程度和先后顺序进行预先分析,合理地确定临界位移值。

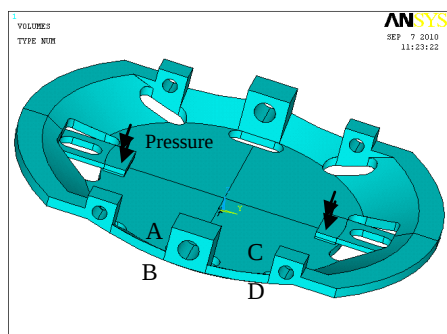


图3 零件的装夹方式

采用图 3 所示的装夹方式,在单边载荷从 0.05MPa 逐渐增加到 0.25MPa 的过程中,对零件上 4 个选定点的变形情况进行了记录。根据记录的数据绘出了这些点的变形关系曲线,如图 4 所示。由变形曲线可以看出,大凸台相对于小凸台的变形要大的多,

因此将大凸台的变形量作为分析上限。同时考虑到尺寸精度的约束,必须将小凸台的变形量控制在 $10\mu\text{m}$ 以内。将形位误差分解后可以得出,如果能够将图中 A 点的变形量在 X 方向的分量控制在 0.02mm 之内,就可以满足所有形位误差的要求。

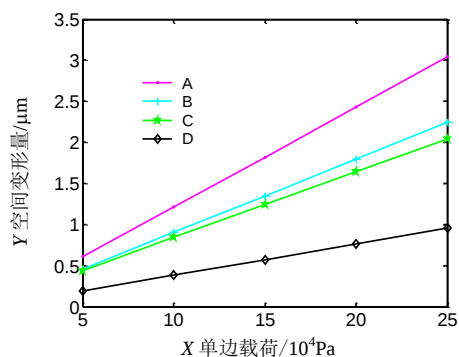


图4 对应点的变形曲线

3.3 夹紧力的确定

利用 ANSYS 自带的建模工具,以全结构尺寸建模的方式,对零件的变形上限进行了逼近分析。材料的弹性模量为 69GPa ,泊松比为 0.33 ,通过在指定位置逐级加载的方式,观察两个指定位置的位移值。将首先达到位移上限的值作为变形的临界变形值,与之对应的夹紧力为临界夹紧力,计算的流程图如图 5 所示。

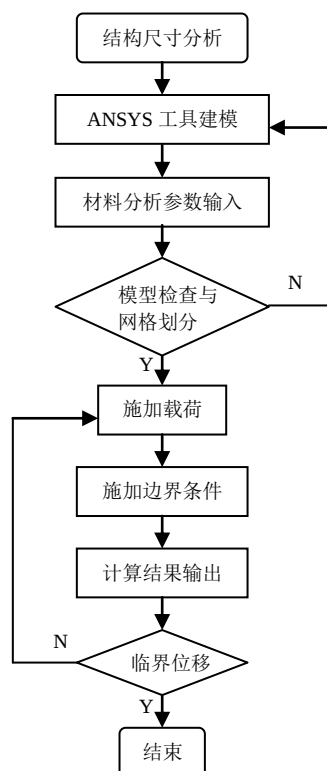


图5 临界值逼近流程图

考虑到实际加工时,夹具的定位精度和机床的重定位精度等因素对尺寸精度的影响比较明显,将孔距的尺寸精度提高到 $5\mu\text{m}$ 较为安全。结果表明,夹紧力增加过程中,孔的距离变形先达到变形上限时,对应的临界载荷约为 0.45MPa ,A点的变形约为 $4.17\mu\text{m}$,远小于 $20\mu\text{m}$ 的变形上限。

从图6可以看出,加工对象的变形情况比较复杂,受力后同时存在多个方向的位移。两端圆弧面上,各位置的变形情况存在较大的差异,用千分表检测微小变形时,应将表头的接触点选在圆弧面的下端面,表指针的变化应控制在 $18\mu\text{m}$ 以内。这也解释了以前实际加工过程中,控制外圆变形量在 $5\mu\text{m}$ 左右时零件合格的原因。

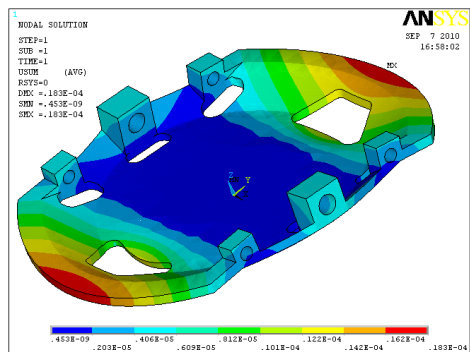


图6 临界载荷作用下的位移等值线图

4 加工验证

受零件结构的限制,在研磨下底面时,施力部位为两边的圆弧面,导致下底面的圆环容易被研磨成低点。设计图纸对下底面的平面度没有明确的要求,与该面有关的尺寸公差在 0.2mm 左右。根据加工经验,工艺文件中将该工序的平面度定为 0.01mm 。本文进行建模时,将平面度更改为平行度 0.02mm ,也就是要求在车削底面时,将圆环多车 0.02mm 。



图7 天线座实物照片

将分析结果应用在另一批零件的加工中后,检测结果表明:研磨定位面到相同精度所需要的时间约缩短了一半;零件的装夹过程更加便捷;加工后零件尺寸精度和形位精度的一致性较好。加工结束后的零件如图7所示。

5 结束语

以实际加工零件为分析对象,选择了合理的装夹方式,模拟了在选定的夹紧力作用下零件各部分的变形情况。实际加工结果表明,模拟分析的结果能够有效地指导现场操作,加工效率和质量明显提高。根据以上的理论分析和加工验证,得到如下的结论:

a. 根据零件的具体结构和工序特点,合理的选择装夹方式可以避免装夹过程中的应力集中现象,使装夹操作更加准确和便捷。

b. 在使用有限元软件进行零件变形分析时,尺寸精度和形位误差应分开考虑,夹紧力的大小应根据变形关系曲线来选择。在充分考虑影响加工精度各要素的基础上,合理选定变形的临界位移值。

c. 零件关键工序有限元分析的结果,为工艺的编制提供了依据,可以起到优化加工工艺,提高加工经济性的作用。

d. 本文在进行有限元分析时,没有考虑残余应力的影响。实际加工时,采用热处理结合振动时效的方式降低、均化了残余应力。要将有限元技术深入地应用在精密零件的加工,还需要充分考虑加工过程中产生的残余应力及其对精度的影响。

参考文献

- 1 孙杰,李剑峰,等. 制造过程关键环节的有限元仿真分析[J]. 山东大学学报(工学版), 2005, 35(1): 17~21
- 2 Shreyes B L, Melkoe N. Improved workpiece location accuracy through fixture layout optimization[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1999, 39: 871~883
- 3 胡于进,王璋奇. 有限元分析及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2009
- 4 王鑫,麦云飞. 有限元分析中单元类型的选择[J]. 机械研究与应用, 2009: 43~46
- 5 王秋成. 航空铝合金残余应力消除及评估技术研究[D]. 浙江大学博士学位论文, 2003