

航空精密工件高精磨削的研究

Research on High-Precision Grinding of Aviation Precision Part

中航工业北京航科发动机控制系统科技有限公司 张启山 王涛 田中梓 张生 李欢

[摘要] 零件在外圆磨床上加工时受两个力的作用,一是受零件磨削力的影响,二是受外圆磨床尾座对顶力的影响,尤其细长杆零件受力变形较为明显。为了在加工过程中避免零件变形而影响加工精度,通过使用 ANSYS 对零件进行有限元分析,控制两个方向力的大小,并对这两个方向力进行逐一分析,并配合高速磨削加工,确定进刀量、磨削速度、零件转速及对顶力等磨削参数,并对上述分析方法进行延伸扩展。

关键词: 细长杆零件 有限元分析 磨削参数

[ABSTRACT] There are two forces applied on the parts with outside grinder. One is influenced by grinding force, the other is influenced by top force. Part will be deformed obviously for especially slender part when it is under the stress. In order to avoid influences of parts deformation on machining precision in the machining process, ANSYS is used to analyze. First of all, the size of the two forces is controlled, and each of them is analyzed. Secondly, grinding parameters are determined, for example, amount of feed, grinding speed, part speed, the top force, etc. Finally, the method which is analyzed above is extended.

Keywords: Slender part Finite element analysis Grinding parameter

在航空航天领域中,细长杆类零件的应用非常广泛,经常作为活塞杆、间隙活门及计量油针使用,它们在燃油调节器中起着十分重要的作用,但是它的高精度要求也给加工带来了很大困难。面对高精度的要求,一般采用数控高精外圆磨床加工,但在加工调试过程中,常常为了保证加工精度,需要一次或多次试加工,同时数控加工参数也需要不断调试,直到确认数控程序能够完成预定的加工要求。为了提高加工效率,保证加工精度,使用 ANSYS 受力分析软件,对零件进行预加工分析,并计算加工参数。

零件在外圆磨床上加工时,受磨削力和对顶力的影响,零件受力方向如图 1 所示。磨削力的大小由进刀量、磨削速度、零件转速及砂轮线速度决定,对顶力的大小与尾座中弹簧的压缩变形有关。磨削力和对顶力过大

都会造成零件变形,而变形量^[1]的大小也与零件本身的长度、直径尺寸、材料的密度和弹性模量^[2]有关。

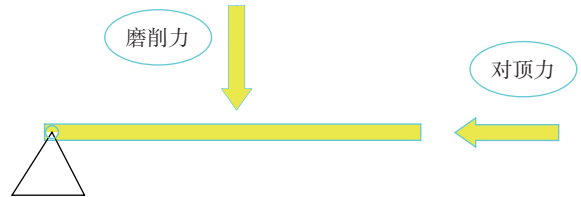


图1 零件受力分析图

Fig.1 Diagram of part stress analysis

1 两个方向力对变形量的影响

1.1 磨削力的分析

以航空零件活塞杆为例,如图 2 所示,单位为 mm。零件材料为 4Cr13,在常温 20℃ 下此种材料的弹性模量为 215GPa,密度为 7.75g/cm³。

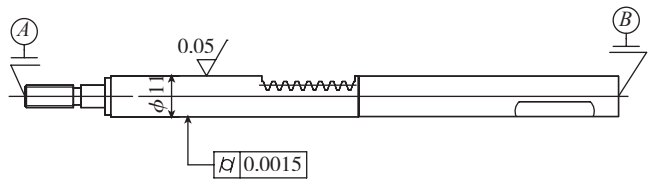


图2 零件工序图纸

Fig.2 Part process drawing

为了明确地分析零件磨削力与变形量之间的关系,基于 ANSYS 对零件进行 1:1 比例建模并进行有限元分析,利用 UG 建模方便快捷的优点,使用 UG 先按照设计图 1:1 比例画好图形,并将模型导入 ANSYS 生成。

首先,对导入的模型进行编辑,根据零件材料为 4Cr13,输入上述查阅的材料密度、弹性模量等主要性能参数,添加到建好的模型中。其次,对模型进行网格划分,划分单位为 1mm,即把模型划分为 N 个体积为 1mm³ 的小方格再进行受力分析,如果想得到更精确的分析结果,则把划分单位缩小即可。最后,对模型添加约束及受力要求,根据外圆磨床定位加工方式,对模型两端中心孔添加固定约束,再根据磨削力方向在被加工外圆施加力 F ,接下来用 ANSYS 进行有限元分析,并生成零件变形量图形,按图 2 中要求零件圆柱度为 0.0015mm,所以将变形量控制在 0.0015mm 范围内,并

不断更改外力大小,直到变形量为 0.0015mm,此时的力可以确定为精加工时的磨削力上限值,如图 3 所示,对零件施加 4N 磨削力时零件总变形量为 0.0015mm,所以在磨削过程中,磨削力不应大于 4N。

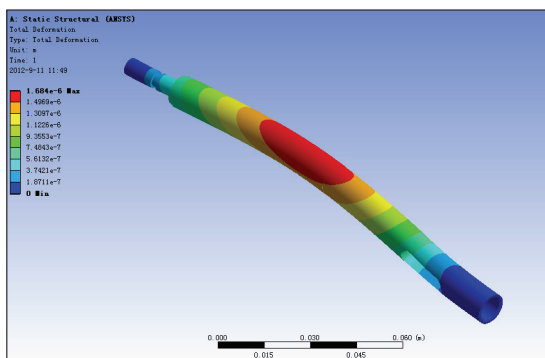


图3 零件应力云图

Fig.3 Part stress nephogram

1.2 对顶力的分析

使用上述相同方法进入 ANSYS 软件对零件进行真实的受力分析,根据外圆磨床对顶加工工作原理,更改固定约束和施加力的方向,假设零件产生 0.0015mm 的变形量,则分析零件承受的对顶力为 20N。

1.3 磨削力与对顶力对变形量的综合影响

为了更准确地分析零件的受力变形量,使用 ANSYS 软件模拟加工过程中的受力分析,对零件左端添加固定约束,并对零件施加对顶力和磨削力,力的大小分别为 20N 和 4N。施加两个方向力后的零件变形,变形量为 0.005mm。

根据有限元分析,同时施加磨削力和对顶力时,零件产生叠加变形,造成零件变形量增大,为了更准确地了解零件受力变形情况,下一步进行实际加工,看零件是否满足图纸要求。

2 确定磨削参数

由上述模型理论分析得出,同时施加磨削力和对顶力时会增大零件变形,但考虑到实际加工过程中零件处于转动状态,受力会出现互相抵消的现象,对图 2 所示零件进行实际加工,磨削力控制在 4N 以下,对顶力控制在 20N 以下,并选择合理的进给量、进给速度和零件转速等磨削参数。

2.1 对顶力的控制

根据上述分析得知,对顶力不能大于 20N,经查阅资料,可以依据加压调整螺钉的位移和弹簧系数计算出对顶力的大小。图 4 为外圆磨床尾座简易图,对顶力 $F_1=83-(X-Y) \times 3.3$ (此对顶力公式仅适合于本公司某型号磨床,不同机床对顶力计算公式不同,主要取决于

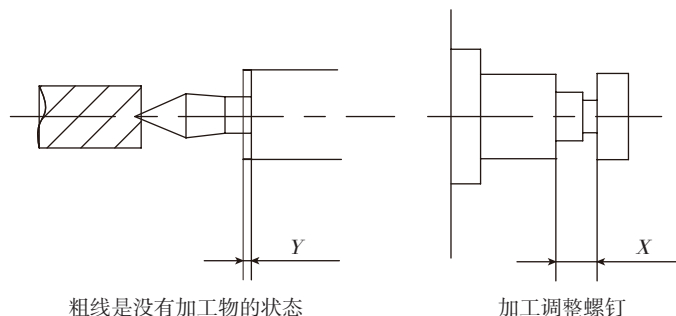


图4 外圆磨床尾座示意图

Fig.4 Diagram of cylindrical grinding machine tail stock

尾座内部弹簧的弹簧系数),通过调节 X 和 Y 的距离控制对顶力在 20N 以下即可。

2.2 确定零件转速

零件的转速主要与零件本身的直径、砂轮线速度有关,取决于它们之间的比例关系。选择合理的砂轮速度和零件速度之间的比值,当砂轮速度提高时,零件速度也要相应的提高,否则会影响加工效率,但不能提高过多。

机床的砂轮线速度为 45m/s,零件直径为 $\phi 11$,根据计算公式 $n=1000V_1 \times 60/250 \times \pi \times D^{[3]}$,其中, n 为零件转速; V_1 为砂轮线速度; D 为零件直径。

将各数值带入公式得出零件转速 $n=312r/min$ (加工时选用 300r/min)。

2.3 确定进给量和磨削速度

在磨削过程中,在磨削力和砂轮线速度不变的情况下,增大进给量时应相应降低磨削速度,根据磨削力经验公式 $F_2=453a^{0.9}f^{0.62}V^{0.76[4]}$ 来确定进给量和磨削速度之间的关系。其中, F_2 为磨削力; a 为进给量; f 为磨削速度; V_2 为零件的线速度。

根据加工细长杆类的加工经验,一般最后一次加工进给量为 0.001mm 或 0.002mm,图 2 中零件实际加工时最后一次进给量选择 0.001mm,零件的磨削力控制在 4N 以下,零件的线速度为 10.4m/s。代入上述公式得出磨削速度 $f=40mm/min$ 。

通过上述分析得出零件的磨削参数,对零件进行实际加工,加工后零件圆柱度保持在 0.0015mm 以内,满足图纸要求,所以根据磨削力和对顶力的模型分析可以运用到实际加工中。

3 结论

根据上述分析得出,对顶力为 20N 以内;砂轮线速度为 45m/s;零件转速为 300r/min;精加工进给量为 0.001mm;磨削速度为 40mm/min。

(下转第 99 页)

积较大,故振动尤为明显。而快进给铣刀无论在深腔中位置如何,切削截面(切屑量)均保持恒定,经过拐角处较圆刀片平稳很多,在拐角处增大刀具编程的圆角值,并且根据圆角值的大小来衰减进给值,这样便大大减小了最大切屑厚度。并且快进给铣刀还有一个优势,它能加工出接近轮廓的侧壁,拐角处残留更小,为后续的精加工留下了较为均匀的余量,解决了粗加工完根部残留过大的问题。

2.3 加工过程中刀具的冷却

冷却条件的好坏是能否高效加工钛合金 TC18 材料的一大关键因素,在这里需要指出的是,由于机床冷却液流量和压力充足,在整个型腔中充满了冷却液,加工时型腔就如一个蓄满水的水池,所以在整个加工过程中刀具始终处于冷却液当中,冷却条件极佳。

3 高效粗加工成果

通过从以上对机床和刀具的合理应用,加工方式以及工艺编程的合理选择,最终在起落架承力结构件粗加工的过程中,将两个同类零件分别放在一台新进的刚性较好的意大利龙门上和一台原有的龙门铣床(低刚性)上,采用了两种相应工艺方法进行了加工效率对比,通过对一个完整零件的加工,做出了对 3 个问题的判断:(1)低刚性机床采用大进给铣削做粗加工会不会出现机床功率不足,闷车的现象;(2)大进给铣削方式与圆刀片结合玉米铣刀的强力铣削方式中哪种加工方式效率更高;(3)在型腔之外的工位上大进给铣削方式还能否保持高的金属去除率,从而达到最终所有机床都能采用大进给铣削来达到此类零件生产高效目的,在此通过表 4~6,来展示大进给铣削刀具高效粗加工的优异表现。

4 结束语

高强、高韧的钛合金 TC18 具有优良的性能,应用前景广泛,是未来大型飞机起落架承力构件的理想材料,通过合理选用机床、夹具、切削方法和刀具应用可以实现对它的高效加工。

随着科技的进步,硬件条件的提升,以后还可以采用更先进的加工方法来加工钛合金 TC18 模锻件,如特种加工(电火花加工)、超高速加工技术(通过超高硬度刀具材料、超高线速度)以及绿色加工技术(干切削加工和绿色冷却技术)等。

表4 零件的材料去除量 kg

零件名称	毛坯重量	产品重量	材料去除量
零件 1	685	130	555
零件 2	580	98	482
零件 3	500	97	403

表5 效率提升表 kg

零件名称	主切削刀具刀片使用数量		加工时间		低刚性机床比 新进机床提高 加工效率 1%
	新进机床	低刚性机床	新进机床	低刚性机床	
零件 1	90 片 + 16 片 圆刀片 + 玉米 铣刀片	120 片 大进给刀片	49(天) 49 × 16=784h	18(天) 18 × 16=288h	63
零件 2	66 片 + 16 片 圆刀片 + 玉米 铣刀片	100 片 大进给刀片	41(天) 41 × 16=656h	14(天) 14 × 16=224h	65
零件 3	76 片 + 16 片 圆刀片 + 玉米 铣刀片	94 片 大进给刀片	43(天) 43 × 16=688h	17(天) 17 × 16=272h	60

表6 R210 φ63Rx大进给铣刀的材料去除量 kg

零件名称	毛坯重量	产品重量	材料去除量
零件 1	685	130	500 (90%)
零件 2	580	98	313 (65%)
零件 3	500	97	302 (75%)

参考文献

- [1] 许文祥,李明衡. 钛合金的切削加工性及其改善方法. 汽车科技,2004(4):30-32.
- [2] 李友生,邓建新,石磊. 高速切削加工钛合金的刀具材料. 制造技术与机床,2007(8):24-27.
- [3] 王俊. 快进切削技术在钛合金粗加工的中应用. 科技信息,2010(29):106-108.

(责编 深蓝)

(上接第 95 页)

通过利用 ANSYS 有限元分析软件,分析两个方向力的大小与变形量的关系,把理论分析作为依据与实际加工相联系,选择合适的对顶力和磨削力,并综合零件转速、砂轮线速度、磨削速度及进给量多方面因素,选择合理的磨削参数,确定加工程序。可以把此次试验理论及分析流程作为依据,并对其他难加工种类零件进行延伸扩展,提高加工效率和加工质量。

参考文献

- [1] 刘鸿文. 材料力学(上册). 北京:人民教育出版社,1980:184-185.
- [2] 刘鸿文. 材料力学(下册). 北京:人民教育出版社,1980:166-167.
- [3] 孟少农. 机械加工工艺手册. 北京:机械工业出版社,1992.
- [4] 李伯民,赵波. 现代磨削技术. 北京:机械工业出版社,2003:29-38.

(责编 深蓝)