

# 弱刚性零件高效加工工艺研究与实践

## Research and Practice of High-Efficiency Processing Technology on Weak Rigid Part

首都航天机械公司 夏磊 何薇 王志坚

**[摘要]** 针对弱刚性零件加工后变形,难以预先数字化描述,导致加工轨迹无法设置,造成数控设备的优势难以发挥等问题,提供一套弱刚性零件高效加工的可行性工艺解决方案,具体介绍了数控机床感知能力、分析能力、优化能力及去手工化工艺方法的研究,实现了薄壁壳体关键工序的一键式操作,减少人为干预点,提高了操作过程的可靠性,使零件的加工质量和生产效率有了明显的提升。

**关键词:** 弱刚性 零件加工 高效

**[ABSTRACT]** In view of the weak rigidity parts deformation after processing, difficult to make digital description in advance, the cutting trajectory cannot be set, which brings the problems such as the advantage of numerical control equipment is difficult to play. A set of feasibility of technology solution for weak rigidity parts high efficiency processing is provided, the numerical control machine perception ability, analytical ability, optimizing ability and method of research to remove manual process is concretely introduced, to achieve one button operation of a thin-walled shell key process, to reduce human intervention, improve the reliability of the operation, make the parts processing quality and production efficiency has the obvious improvement.

**Keywords:** Weak rigidity Part processing High-efficiency

**DOI:** 10.16080/j.issn1671-833x.2015.S1.052

近年来,军工产品研制生产需求快速增长,面对多型号并举、研制和批产并存、高强密度发射的任务形势,航天事业进入快速发展时期,型号产品的高质量、高可靠性、快进度的研制要求越发明显<sup>[1]</sup>。虽然目前先进的数控加工设备可以达到很高的刚度和精度的运动控制,但是,由于弱刚性零件在加工过程中极易发生加工变形和切削振动,导致加工误差,从而难以保证零件的加工精度和表面质量<sup>[2-4]</sup>,严重情况下造成零件报废,因而,如何在弱刚性零件发生变形的情况下,采取有效的控制

措施保证加工质量,同时提高加工效率,是一个亟待解决的问题。

### 1 弱刚性零件加工现状

(1) 原材料残余应力大,造成零件在加工过程中不断变形。

原材料的内应力难以完全消除,伴随金属材料的去除过程,残余应力不断重新分布,导致零件加工过程中不断变形。特别是薄壁零件的精加工阶段,问题更加明显,解决弱刚性零件的加工变形问题一直是研究热点之一<sup>[5-6]</sup>。

(2) 人为干预环节多,加工过程无法连续。

弱刚性零件为薄壁结构,刚性差,内形复杂且不对称,尺寸公差链不协调、设计基准不统一,加工过程中的圆度与直线度指标满足性问题尤为突出。针对该类类产品,传统工艺方法是先进行粗加工,预留少许余量,后续通过测量-调整-测量的方式,修正实际数控加工程序的原点或刀具补偿值。该过程需要多次的人为干预,导致加工过程无法连续,极易出错,加工效率低下,质量不稳定。

(3) 数控设备利用率低,造成设备的优势难以发挥。

数控机床为可数字化描述的复杂零件加工提供了有效的解决方案,然而针对弱刚性零件,加工后变形,难以预先数字化描述,导致加工轨迹无法设置,造成数控设备的优势难以发挥。

综上所述,本文以某薄壁壳体为例,提供一套弱刚性零件高效加工的可行性工艺解决方案,具体介绍了数控机床感知能力、分析能力、优化能力及去手工化工艺方法的研究,实现了薄壁壳体某工序的一键式操作,减少人为干预点,提高了操作过程的可靠性,使零件的加工质量和生产效率有了明显的提升。

### 2 研究内容

#### 2.1 数控机床感知能力研究

通过对数控系统功能的开发,读取系统中的中断信号,实现机床对产品变形量的监测功能,并能反馈监测

数据,使机床具备了一定的感知能力,同时通过变量间的传递,将感知到的数据,补偿到后续的数控加工程序中,代替人工补偿。

## 2.2 数控机床分析能力研究

### (1) 专用分析程序的开发。

开发专用分析程序,对测量异常值进行工程化的分析。在测量过程中出现异常时(如加工过程中的切屑干扰),导致测量数据失真,专用分析程序将根据预设类别进行数值分析,根据分析的结果,确定后续的动作。当满足预设允差范围时,可继续加工;当超出预设允差范围时,系统会自动发出停机指令,同时锁定机床运动部件,并提示操作者检查排故。

### (2) 专用验证程序的开发。

开发专用验证程序,自动判定操作者定位安装零件的正确性。在满足预设允差范围时,可以进行后续加工;否则,加工过程自动锁定,并提示操作者零件安装出现偏差。通过专用验证程序,可以自动判定操作者定位安装的正确性,提高操作可靠性,从而避免质量事故。通过不断的实践和后续的开发,程序可以根据偏差量进行自动调整,降低了零件的定位安装要求,从而提升整体工艺适应能力。

### (3) 机床状态自动检测程序的开发。

开发机床状态自动检测程序,使机床具备对工件坐标系进行自检的能力。通常,操作者会在以下2种情况下临时调整加工坐标系。第1种情况:当一个新编制的数控程序被执行前,操作者应空运行程序或在条件允许的情况下,在零件表面模拟刀轨,以检查程序是否正确。操作者常用的方法是调整坐标系中的偏置值,来实现程序的调试;第2种情况:当加工精度较高或由于刀具磨损、零件变形等原因无法保证精度时,如果临时修改数控程序,会造成加工等待,简单快捷的方法是,操作者在操作现场通过调整加工坐标系来保证尺寸精度。

以上2种情况,均会对加工坐标系进行临时更改,但往往操作者修改完成后,可能忘记恢复加工坐标系初始状态,以至于造成产品超差、报废的严重后果,甚至发生主轴与产品碰撞。

通过开发的机床状态自动检测程序,可以避免上述的严重后果。在坐标系发生更改时,系统会自动报警,并停止程序继续执行,杜绝了生产现场交接信息传递不及时或因初始状态变更引起的产品加工质量隐患。

## 2.3 优化能力研究

通过对数控系统的开发,能自动地优化加工路径。通过判定当前实际尺寸,自动选择最佳轨迹。如图1所示,当精度不满足要求时,执行轨迹1;当满足要求时,执行轨迹2,自动跳过程序。该方法根据加工实际情况

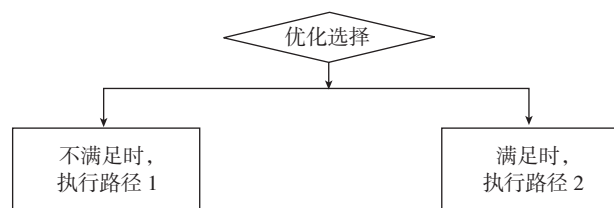


图1 优化判断

Fig.1 Optimal judgment

自动选择程序是否执行,可以有效地缩短加工时间。

## 2.4 去手工化工艺方法研究

### (1) 自动刻象限线工艺方法。

刻线工具的结构特点使得产品对于刻线深度的变化非常敏感,由于零件变形,刻线时深度很难与产品刻线面相协调,无法保证刻线深度均匀,因此刻象限线历来是手工操作完成(即使是在数控设备上进行操作),导致数控加工过程中断,带来数据不确定性,造成产品出现质量问题。

开发测量补偿程序,实现了刻线过程的自动化,摆脱了人为操作可能出现的故障模式,保证了刻线的一致性和可靠性,为保证加工过程的连续性提供了工艺解决方案。

### (2) 几何特征工艺方法。

针对倒角、镗沉孔等几何特征,传统工艺方法针对倒角主要采取手工锉修方案。镗沉孔采用镗钻,通过手工操作完成,工作量大且加工质量粗糙,效率低。为提高加工效率,用数控铣加工代替原工艺手工锉修倒角、划窝的工艺方案。然而,数控加工时采用自动编程、排刀逼近的方法完成,为保证产品表面精度,数控程序量会很大,当逼近精度0.05mm时,程序数据量超过6MB,满足粗糙度精度要求的逼近精度为0.015mm,而我单位卧式加工中心数控系统存储量仅为4MB,程序量远大于数控系统存储量,必须要将程序分段或采用在线传输的方式边传边干的方法解决。程序分段会造成程序首尾出现接刀,导致加工精度的降低,采用在线传输的方式,受服务器和线路的影响,会导致加工过程可靠性降低。通过改进编程方式,使程序数据量大大降低,可以解决程序量与机床存储量之间的矛盾。改进后的数控程序,当满足粗糙度要求的理论逼近精度为0.015mm时,程序量小于10kB,如下所示。

```

%                               WHILE[#2GT#3]DO1
00001                             #4=#4+#1
#1=0.1                             #5=#5+#1
#2=2                                #6=#6+#1
#3=0                                G01Z#4F800
#4=-2                               X#5
  
```

```
#5=0
#6=0
M6T15
G00G90G17G54
G00Z2
X0Y0
G03I-#6J0
G01X0
#3=#3+#1
END1
M02
%
```

### (3) 细小螺纹的机制工艺方法。

在加工细小螺纹时,由于排屑、冷却等问题的影响,传统工艺均采用手工攻丝工艺方案,手工攻丝能够很好地把握丝锥在攻丝时与切削工艺环境的协调,可以及时感觉到攻丝时异常情况的发生,并采取相应工艺措施,以保证攻丝质量。但手工攻丝方法的弊病在于容易发生螺纹与安装基面不垂直、劳动强度大,加工效率低,并对操作人员技能水平要求很高。针对以上问题,通过大量工艺实践,积累了大量的工艺数据,并开发专用程序,采用经过验证的可靠的工艺数据,使数控系统能够自动判定丝锥加工时的临界状态,采用机制攻丝代替了人为的手感控制的技能方式,实现了高效、高可靠性机制细小螺纹<sup>[7-8]</sup>,如 M3、M4、M5 螺纹均可在数控设备上完成,并能保证螺纹质量。

## 3 结束语

结合我单位被加工零件材料特性、本单位的设备及操作人员技能的实际情况,摸索出较为理想的弱刚性零件高效加工工艺方案,解决了数控系统能够完成定制化的状态自检、工艺量的读取与判定、路径优化等问题,使薄壁壳体等类似弱刚性零件的加工过程趋于稳定,工艺可靠性有了很大的提升。

工艺方法高效性和可靠性来自于实践,必须根据零件设计结构特点、材料特点等,制定针对性的工艺方案。在工艺设计时,必须以提高加工过程机械化程度及自动化程度作为工艺设计追求的目标,但要落实这一思路,需要突破许多技术难点,其中包括程序方面、工艺方面及控制系统方面。工艺方面首要解决的是工艺参数、设备系统、工具系统、装夹状态、冷却方式等的协调问题,即工艺参数必须使加工效率与可靠性相协调,不能盲目追求高的单一切削参数,也不能盲目追求自动化程度。需要经过大量的加工试验,为自动化生产和数字化制造提供可靠的工程数据支撑。

### 参考文献

- [1] 丁鹏飞,周世杰,王贺,等.面向航天制造企业的数字化工厂建设方案探讨.航空制造技术,2014(14):51-55.
- [2] Davies M A, Balachandran B. Impact dynamics in milling of thin-walled structures. Nonlinear Dynamics, 2000(22): 375-392.
- [3] Ratchev S, Liu S, Becker A A. Error compensation strategy

in milling flexible thin-walled parts. Journal of Materials Processing Technology, 2005 (162/163): 673-681.

- [4] 李康,李蓓智,杨建国,等.薄壁弱刚性件的工艺方法及变形控制研究.组合机床与自动化加工技术,2013(10):101-104.
- [5] 唐志涛.航空铝合金残余应力及切削加工变形研究[D].济南:山东大学,2003.
- [6] 苗勇.残余应力对整体结构件加工变形的影响.组合机床与自动化加工技术,2011(9):81-83.
- [7] 段明忠.钻孔、攻丝一次成形的加工方法和设备的研究[D].湖北:武汉科技大学,2006.
- [8] 张慧云.小螺纹数控加工试验.现代制造工程,2011(5):53-56.

(责编 玲犀)

(上接第 51 页)

留有记录,做到技术问题提前处理,这样可以大幅节约机床操作人员与工艺技术人员沟通的时间,能够有效提升机床的使用率。同时建议工艺技术人员现场办公,有效提高沟通协调的效率,减少各环节的协调等待时间。

### 3.5 提高人员水平

对于现代化的数控加工中心而言,其功能越来越强大,相应的操作也比较复杂,对于操作人员的素质要求非常高,尤其对于多轴联动加工中心,对操作者的加工经验要求较高。同时,复杂多样的产品对于操作人员技能水平的依赖程度较高,对于高难度、高价值的产品,操作人员还要熟悉产品加工过程中的风险环节,并能够制定一些风险控制措施。而且,操作人员的机加工经验和熟练程度都制约着机床使用率的提升,因此,要加强对技能人员的培训,提高人员技能水平,从而有效提升设备的使用率。

## 4 结束语

对于承担多品种、小批量产品生产的研制型企业,如何提高机床的使用率、持续提升车间生产管理的水平、缩短产品研制周期、降低生产的成本,满足客户对于质量和进度的需求,是企业在激烈的市场竞争中取胜的关键因素。本文分析了影响数控设备使用率的 5 方面的主要因素,并提出了相应的解决措施,以机床监控和数据采集系统为分析手段,持续改进生产管理水平,最终达到提升多品种小,批量产品加工设备使用率的目标。

### 参考文献

- [1] 金艳玲,姚东成.引入生产准备单元的数控车间作业模式探索.航天制造技术,2012(4):54-55.
- [2] 刘勇,减少生产准备时间.企业管理,2010(3):81-82.

(责编 玲犀)