

制定数控加工工艺合理性的探讨

华中科技大学机械科学与工程学院 (湖北武汉 430074) 任国兴

在编程中,对一些工艺问题(如对刀点,加工路线等)合理地作一些处理,制定合理的数控加工工艺是一项十分重要的工作。数控加工工艺的主要内容包括数控机床的坐标系统的建立、机床与刀具选择与使用、装夹工艺方案的选择、切削条件的确定、走刀路线的确定及其优化、分配数控加工中的容差等方面问题。

1. 数控机床与刀具选择

(1) 数控机床选择 根据加工对象的工艺要求选用数控机床主要考虑:所选用的数控机床功能必须适应被加工零件的形状、尺寸精度和生产工序安排、经济性的要求。

(2) 刀具选择 数控刀具系统在数控加工中具有极其重要的意义,正确选择和使用与数控机床相匹配的刀具系统是充分发挥机床的功能和优势、保证加工精度以及控制加工成本的关键。

数控刀具种类大致有整体、机夹式两类。为充分发挥刀具的切削能力,优化其结构,数控刀具更多采用机械夹固可转位刀具形式。数控刀具在结构上对尺寸精度要求很高,以满足较高的定位精度及重复定位精度要求。在数控加工中,速度要远高于普通加工,为适合因高速而带来的高切削温度及严重摩擦,而不致使刀具磨损过速,数控加工刀具以硬质合金为主,一般采用YT类硬质合金加工钢料,YG类硬质合金加工铸铁。为不断提高刀具切削性能,数控刀具中,越来越多地采用涂层硬质合金。涂层材料及涂层技术的迅猛发展,为数控刀具的性能提高提供了良好的条件。

对数控刀具影响较大的因素主要有工件表面凹处的最小曲率半径、加工效率、法向矢量转动误差等。刀具的大小与加工表面的大小匹配,取值范围应尽量符合刀具标准系列内参数要求;刀具刀尖或球形半径应小于加工表面凹处的最小曲率半径,一般最大不得超过0.8倍表面最小曲率半径。

2. 设置工件坐标系、对刀点和换刀点

在分析图样的基础上,要对图样数学处理,进行相应的运算,就得设置编程坐标系,该坐标系的选定主要便于计算为原则,同时要方便编程坐标系转化到机床工件坐标系,坐标原点的选择就得慎重了。通常工件坐标的形成是通过对刀来完成的,对刀就是将刀具或对刀工具在数控机床的空间位置的数据输入数控系统内的存储位置,它是数控加工中最重要的操作内容,其准确性将直接影响零件的加工精度。

选择对刀点时一般在零件的设计基准或工艺基准上,或与之相关的位置上,这样便于确定工件坐标系与机床坐标系的相互位置,容易找正,加工过程中便于检查,引起的加工误差小,便于坐标计算。

换刀点是根据工序内容安排,主要为了防止换刀时刀具碰伤工件,减少空行程时间。换刀点往往设在工件或夹具的外部,或以刀架转位时不碰工件及其他部件为准,其设定值可用实际测量方法或计算确定。

3. 数控加工方法

选择合理的加工方法是以保证加工表面的加工精度和表面粗糙度为前提,获得同一级精度及表面粗糙度的加工方法一般有许多,因而在实际选择时,要结合零件的形状、尺寸大小和热处理要求等全面考虑。

(1) 不同数控机床加工方法 用点位或直线控制数控机床(如数控钻床)来加工,选择工艺路线时,主要考虑加工精度和加工效率两个方面。

用数控车床或磨床加工,若考虑数控车床加工效率时,通常加工余量大,必须合理安排粗加工路线,以提高加工效率。实际编程时,一般不宜采用循环指令,否则刀具空行程过长,比较好的方法是先用粗车尽快去除材料,再精车。数控车床上经常用到低强度刀具加工细小凹槽,这样就得考虑刀尖强度而不能考虑效率了。

用数控铣床加工应注意刀具切入与切出方向控制,

如图1所示,径向切入时,工件表面留有凹坑;切向切入、切出,工件表面光滑。在加工不规则曲线轮廓时,需要用微小直线段或圆弧段去逼近被加工轮廓,就得选择具有直线和圆弧插补功能的数控机床加工,同时考虑使工件误差在合格范围并且程序段的数量少为佳。

(2) 不同形状零件加工方法:

①平面孔系零件的加工方法。

对这类孔的形位精度或尺寸精度要求较高的零件,采用数控钻床与镗床加工较合适。

②旋转体类零件的加工方法。采用数控车床或数控磨床加工,车削零件的毛坯多为棒料或锻坯,

加工余量较大且不均匀,在编程中,粗车加工线路要重点考虑。③平面轮廓零件的加工方法。采用数控铣床加工,为保证加工平滑,应增加切入和切出程序段,若平面轮廓为数控系统不具备插补功能的线型时,应先采用直线、圆弧去逼近该零件的轮廓。④空间轮廓表面的加工方法 空间轮廓表面的加工可根据曲面形状、机床功能、刀具形状以及零件的精度要求,有不同方法,如三轴两联动加工采用行切法,如图2,以X、Y、Z轴中任意两轴作插补运动,另一轴作周期性进给,一般采用球头或指状铣刀,在可能的条件下,球半径应尽可能选择大一些,以提高零件表面质量。加工立体轮廓零件时,也应考虑工件强度及表面质量,有的工件受力后,强度较差,加工后的表面质量不好;其次考虑机床的插补功能,如用三轴联动机床加工飞机机翼直纹扭曲面时,只能选用效率较低的球头铣刀;若机床为四轴联动加工,则可选用效率较高的圆柱铣刀铣削。

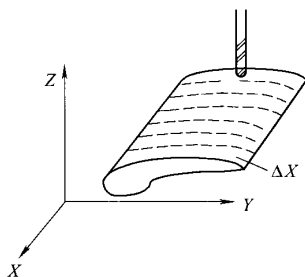


图2 行切法加工工件

4. 装夹工艺方案

数控机床依靠机床精度和数控加工程序准确控制刀具的正确位置和保证工件的位置精度,使用夹具时无需考虑常规夹具上的导向和对刀功能,只需具备定位和夹紧两种功能就能满足要求。通常选用通用夹具,在一次安装中完成工件尽可能多表面的加工;当工件品种和结构变化较大时,可选用组合夹具;当工件形状复杂,不易安装且批量较大时,可考虑设计专用夹具。数控机床常用的夹具有机用虎钳、平口虎钳、液压虎钳、卡盘、压板等;作为一种可重复使用的夹具系统,如图3、图4,组合夹具尤其是孔系和槽系组合夹具已在数控机床上逐步获得推广应用。

夹紧力应力求通过靠近主要支承点上或在支承点所组成的三角形内,力求靠近切削部位,并作用在刚性较好的地方,以减小零件变形。

零件的装夹、定位要考虑到重复安装的一致性,以减少对刀时间,提高同一批零件加工的一致性。零件定位、夹紧的部位应考虑到不妨碍各部位的加工、更换刀具以及重要部位的测量。

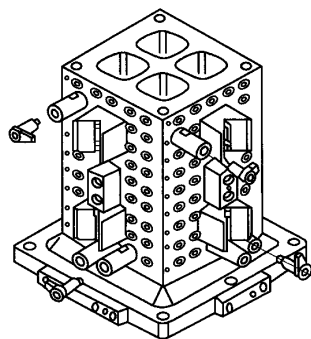


图3 孔系组合夹具

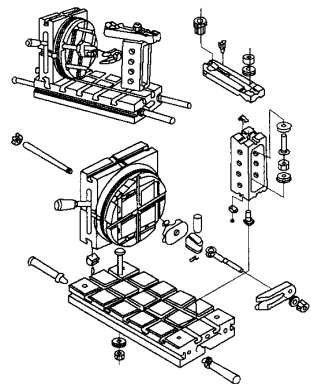


图4 槽系组合夹具

(1) 定位安装的基本原则 在数控机床上加工零件时, 定位安装的基本原则与普通机床相同, 也要合理选择定位基准和夹紧方案。为了提高数控机床效率, 确定定位基准与夹紧方案时应注意下列三点: ①力求设计、工艺与编程计算的基准统一。②减少装夹次数, 尽可能在一次定位装夹后, 加工出全部待加工表面。③避免采用占机人工调整夹具的加工方案, 以充分发挥数控机床的效能。

(2) 选择夹具的基本原则 数控加工对夹具要有两方面要求: 一是要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定; 二是要协调零件和机床坐标系的尺寸关系。另外还需要注意: ①夹具结构应力求简单。当零件加工批量不大时, 应尽量采用组合夹具、可调式夹具及其他通用夹具, 以缩短生产准备时间、节省生产费用; 成批生产时考虑采用专用夹具。②零件的装卸要迅速、方便, 以缩短机床的停顿时间。③夹具要开敞, 其定位、夹紧机构或其他元件不能影响加工中的走刀。④夹具在机床上的安装及工件在夹具上的安装要准确可靠, 以保证工件在正确的位置上按程序加工。

5. 工序安排

加工阶段的划分主要可分为粗加工、半精加工、精加工。粗加工主要是去除各加工面的大部分余量; 半精加工完成一些次要表面的加工, 并为精加工作好准备; 精加工使各主要表面达到图样要求; 光整加工提高工件的尺寸精度, 降低表面粗糙度值或强化加工表面; 超精密加工使加工尺寸误差和形状误差在 $0.1\mu\text{m}$ 以下。

划分加工阶段是对整个工艺过程而言的, 一般加工顺序原则:

(1) 先基准加工 为后续加工提供较为精确的基准, 为加工测量提供依据。

(2) 先主后次 以主要表面的加工方案为框架, 适当穿插次要表面的加工。

(3) 先粗后精 有利于保证加工精度。

(4) 先面后孔、先外后内 用平面定位加工孔, 有利于安装稳定。

6. 走刀路线确定与优化

在数控加工中, 刀具刀位点相对于工件运动轨迹称为加工路线。编程时加工路线的确定相当重要, 有利于产品加工工时的缩短, 提高生产效率。

加工路线的确定直接关系到数控机床的使用效率、

加工精度、刀具数量和经济性等问题, 应尽量做到工序相对集中, 工艺路线最短, 机床的停顿时间和辅助时间最少。数控机床上确定工艺路线时应能保证零件的加工精度和表面粗糙度要求; 在数控机床上工件一次装夹, 可以进行多个部位的加工, 尽量缩短加工路线, 减少空行程时间和换刀次数, 以提高生产率; 尽量使数值计算简单方便, 以减少编程工作量。

安排工艺路线时应使加工路线最短, 当然, 确定加工路线时, 还要考虑工件的加工余量和机床、刀具刚度等情况, 确定是一次走刀、还是多次走刀来完成加工以及在铣削加工中是采用顺铣还是采用逆铣等。如有时为了提高零件的加工精度, 也可采用同一表面多刀方法加工可控制零件变形误差, 提高加工精度。在轮廓加工时应该避免加工中的停顿, 轮廓加工时应尽量采用圆弧进退刀的方式, 尽量沿轮廓曲线的延长线切入、切出, 以免交接处出现刀痕, 虽然加工路线长了, 但其他方面得到了保证。

7. 数控加工中容差的分配

零件的加工精度不能局限于在加工过程中形成, 在编程时处理就形成了相应的误差, 而且是不可避免的。数控加工过程中的误差贯穿于数控加工工艺处理与生产过程, 主要包括产生如下误差: 几何建模误差、插补逼近误差、尺寸圆整或舍入误差、机械间隙误差、定位误差等。

在点位控制加工中, 尺寸圆整误差会直接影响孔位置尺寸精度; 在轮廓控制加工中, 影响轮廓加工精度的主要是插补误差, 而尺寸圆整误差的影响则居次要地位。生产过程中机械方面的误差、零件定位误差、对刀误差、刀具磨损误差、工件变形误差等等, 与零件图样上给出的公差比较分析, 操作者应该合理分配, 很大程度上分配给人不易控制的形成误差, 允许分配给编程及工艺制定过程中产生的误差很小, 一般允许的编程误差等于零件公差的 $10\% \sim 20\%$, 所以, 应尽可能避免或者通过补偿的方式减少误差对零件精度的影响。

总之, 数控加工工艺处理关系到所加工出来零件的正确性与合理性, 程序质量的好坏在很大程度上取决于编程人员的实际工作经验和编程中采用的工艺处理方法, 提高零件的加工质量和机床的使用率, 探讨数控加工的工艺规程设计问题, 选择合理高效的加工方法和加工路线, 对保证零件的加工质量, 提高数控机床的使用效益有着十分重要意义。

(收稿日期: 20060709)