

# 数控加工中薄壁零件加工工艺分析

刘艳艳

(赤峰工业职业技术学院 内蒙古 赤峰 024000)

**摘要:** 薄壁零件具有质量轻、结构紧凑以及节约材料的特点,所以在航空、医疗以及汽车制造等领域应用较为广泛。但是由于薄壁零件的刚性差、强度弱,在数控加工过程中容易因为切削、热力、颤振、表面硬化等原因导致工件变形,影响到零件的加工精度。基于对薄壁零件的特点分析,在数控加工中通过对工件的装夹,刀具几何参数以及程序编制进行优化调整,可提高薄壁零件加工的精度。文章首先阐述了薄壁零件数控加工的特点,然后对影响薄壁零件数控加工精度的因素进行分析,同时提出了提高薄壁工件加工精度的措施,为进一步提升我国数控加工技术水平提供参考。

**关键词:** 薄壁零件; 数控加工; 变形; 刀具; 精度

## 0 引言

随着我国工业化水平的不断提升,对薄壁零件的使用需求也在逐渐增加。数控加工以其特有的优势在我国机械加工制造业中得到了广泛的应用,数控加工的效率 and 精度代表了我国制造业的发展水平。利用数控车床进行薄壁零件加工,可提升零件加工效率。薄壁零件通常会应用于机械、汽车、航空等行业,这些行业对零件的加工精度有较高的要求,而薄壁零件在刚性和强度方面的性能较差,在数控加工中会因为各种因素的影响而导致零件变形,尤其是对于薄壁组合零件和薄壁异性零件而言,会进一步增加加工工艺的难度。为了解决薄壁零件加工中遇到的问题,应该对影响零件加工精度的因素进行全面和深入地分析,然后有针对性地制定解决措施。为了有效解决薄壁零件加工精度的问题,在优化加工工艺的同时,还应该注重对操作人员在技术水平和操作规范方面的培训,在客观和主观两个层面共同发力,减少或者避免薄壁零件加工中出现的变形,切实提升薄壁零件数控加工技术水平,为促进我国工业的发展奠定坚实的基础。

## 1 薄壁零件数控加工特点

薄壁零件是指零件的壁厚与其径向、轴向尺寸的比值较大的金属零件,这类零件因为节约材料,且质量较轻、结构简单等特性,所以在我国机械部件中的应用范围不断扩大。也正是因为薄壁零件的壁厚较薄,刚性和强度较差,所以在数控加工中极易产生变形,难以保证零件的加工质量,这也是一直困扰数控加工的重要难题。薄壁零件一般会采用数控车床进行加工,因为薄壁零件对加工精度和表面粗糙度的要求较高,在遇到薄壁异形零件或者薄壁组合零件时,会增加加工难度,这些加工特点都适用于数控车床。数控车床利用加工程序对车刀

运动轨迹的控制,能够完成对薄壁零件的高难度加工,在同一台车床中以增加控制轴坐标的方式,还能够同时对多个零件进行加工,有效提升加工效率。对于回转体零件加工而言,数控车床能够保证较高的加工精度,所以较为适用于薄壁零件的加工。但是在实际加工中,工件的装夹方式、车削加工工艺的选择、刀具的几何角度、车削时的振动、切削量的掌控等,都会对零件的加工精度产生不同程度的影响,还需要根据加工对象的特点对相关参数进行优化调整,以确保薄壁零件的加工质量。

## 2 工件装夹

### 2.1 工件装夹变形的原因

装夹是零件加工前的重要工序,也是影响零件加工尺寸和精度的重要因素。如果工件装夹定位不准或者夹紧方式、力度掌握不当,还会导致工件发生变形,影响到工件的加工精度。尤其是对于薄壁类零件而言,在使用通用夹具装夹时,如果夹压力过大,就会导致工件变形,如果夹紧力不够又会造成工件的松动。比如使用三爪卡盘夹紧薄壁零件时,零件受到夹紧力的作用会趋向于三角形的形状,车削后的形状为圆柱体。但是在松开卡爪时,零件不受外力影响就会恢复成弧形三角形,产生等直径变形。所以在薄壁零件数控加工中,要严格控制装夹方法,确保零件的加工尺寸和精度。

### 2.2 薄壁零件装夹的原则

在工件装夹时,首先应该选择适合的定位基准,可根据基准重合原则进行定位,以工件的左端面或者右端面作为定位的基准。在工件装夹时可采用以下原则,对于薄壁环形零件,可在薄壁环处增加一个开口作为过渡环,以减少夹紧造成的误差。为了减少因为夹紧而产生的变形,可在工件刚性较强的位置进行夹紧,或者在工

件上增加一个刚性较强的辅助凸台作为夹紧位置,加工完成后再将其切除。对于套筒类或者深孔薄壁零件的加工,可以先加工外圆表面,然后再以外圆进行定位来加工深孔。由于套筒类工件较长,所以在装夹时应该采取防止孔轴心线偏斜的措施,以保证加工精度。如果加工的薄壁零件有较高的加工精度要求,为了避免加工中引起的变形,应该将粗加工、半精加工、精加工各个工序分开,为了消除内应力引起的工件变形,应该对材料进行热处理以及去应力的工序。

### 2.3 薄壁零件装夹方法

装夹方法不同,对薄壁零件的形变影响也不相同,每种装夹方法都有各自的优缺点。为了降低因为装夹方法不当而造成的工件变形,在加工时可根据工件的材料性质、形状、大小等因素选择适当的装夹方法。为了减少装夹时对工件造成的受力不均,可以采用特制的软卡爪来增加接触面积。比如使用通用软爪进行定位装夹,在工件上选择刚性较好的部分作为作用点,可以提高受力的均匀性。这种方法适用于对形状和尺寸公差要求不严的工件加工中,能够承受较大的切削力。但是因为定位点较为集中,所以夹紧之后工件变形较为严重。而采用扇形软爪的三爪卡盘,可以根据工件形状和工件装夹面需要接触的面积,定制卡爪的工作面,以增加与工件之间的接触面积,夹紧力可均匀分布于工作面,在增加切削用量时工件也不宜发生变形,但是这种装夹方法的关键点在于扇形软爪加工有一定的难度。在数控车床加工薄壁零件时,尽量不要使用径向夹紧,装夹时利用轴向夹紧套的端面对工件进行轴向夹紧,因为夹紧力是沿工件的轴向分布,而工件的轴向刚度又较大,所以这种装夹方法可最大降低工件变形,加工的工件质量较好。但是采用这种方法的工艺系统较为复杂,夹具可适用的工件范围较小。此外,还有刚性芯轴装夹,磁力吸盘装夹,可涨式芯轴装夹以及增加工艺肋等方式,可根据加工需求选择适宜的装夹方法,尽量减少因为装夹而造成的工件变形。

## 3 薄壁零件加工受热变形

### 3.1 受热变形的原因

数控车削加工时,工件在高速旋转的状态下与刀具接触时会阻碍刀具的行进,二者之间的摩擦会产生大量的切削热,从而导致工件产生弹性变形和塑性变形。尤其是对于薄壁零件车削加工而言,对于膨胀系数较大的金属薄壁零件,如果在一次安装中连续完成半精车和精车,这种切削热所引起的工件热变形会更加严重,导致工件的加工精度和加工尺寸受到影响,有时可能导致工件卡死在芯轴类夹具上。切削速度和刀具的锋利状况是影响车削热的重要因素,在制定防止工件受热变形措施

时,还应该根据实际情况进行调整和优化,以降低工件因受热而影响加工精度。

### 3.2 防止受热变形的措施

薄壁零件数控车削加工时,不同的加工工艺对工件变形产生的影响也不相同,所以控制切削热的方式要有针对性。无论采用哪种车削工艺,降低薄壁零件切削热的措施主要是以冷却为主,然后根据薄壁零件的材料选择适合的切削液来降低切削温度,最大程度降低因为工件受热而产生的变形。在使用钢刀具进行高速粗加工时,可以使用水溶液来降低切削温度。使用硬质合金刀具粗加工时,可以不使用切削液,可选择低浓度的乳化液或者水溶液降温,但是必须保证浇注的连续性。精加工时使用的切削液可与粗加工时相同,但是要提升切削液的润滑性能,在切削过程中使用切削液不仅能够降低切削热,还能够减小切削力,延长刀具的使用寿命。因为切削速度和刀具的锋利程度是影响切削热的最大因素,所以在精加工时,应适当增加切削速度,同时减少进给量。而采用粗加工时,应适当降低切削速度,同时增加进给量。

## 4 薄壁零件加工振动变形

### 4.1 振动变形的原因

振动变形也是影响薄壁零件数控加工精度和尺寸的因素之一,在切削力和夹紧力的作用下,工件会发生变形或者振动,在径向切削力的作用下工件发生振动变形的概率会更大。如果刀具的角度不正确或者磨损较为严重时,会增加切削力,在工件表面就会产生颤纹,从而影响到工件表面的加工精度。

### 4.2 减小振动的措施

薄壁零件在数控车削加工过程中,机床自身结构、设计、维护不到位等因素都会产生振动,由于工艺不同产生的振动幅度和状态也不相同。控制和减少自激振动的措施主要是减少或者消除激振力,同时加强对车床自身结构的维护。通过调整车床主轴、拖板、床鞍、刀架和滑动部位间隙,确保车床转动和滑动部件都处于最佳状态。使用吸振材料也可减少振动,可在工件中填充或者包裹软塑料、橡胶带、橡胶片、棉纱等材料。比如在采用橡胶片时,工件旋转时在离心力的作用下橡胶片会与孔壁贴的更紧,在减少振动的同时,还能够阻碍振动传播。采用芯轴装夹时,可在薄壁零件与芯轴内孔之间的缝隙中填入低熔点物质,将其两端用堵头封上,既能够减小振动,还能够降低变形。对于楔形芯轴而言,可采用铝制楔形芯轴,楔形芯轴在与工件内孔会更加严密以减少振动。

## 5 薄壁零件加工工艺的选择

选择适合的车削工艺也能够对薄壁工件的变形起到

一定的控制作用,所以可根据加工对象的特性以及可能影响工件加工精度和尺寸因素调整加工工艺。

### 5.1 先粗后精

不同的加工工艺对薄壁工件产生的形变不同,在使用数控车床对薄壁零件进行加工时,一般会将粗车和精车分开进行。在粗车加工时工件中产生的残余应力较多,所以在粗车加工后应该进行热处理,以减轻应力残余对工件的影响。对于形状较为复杂,同时对加工精度有较高要求的工件,在粗车和精车加工之间增加一道半精车工序。因为粗车加工时夹紧力较大,加工时间越长,工件累积的形变量越大。而精车加工时不需要太大的夹紧力,产生形变的概率也相对较小。在粗车和精车之间增加半精车工序,能够对粗加工后工件因切削力过大产生的变形进行修正,工件的形状和尺寸精度都会有显著的提升。如果工件的半精车和精车加工是采用同一基准和一次装卡完成,在精车加工前,可松开工件转动一下以使其恢复到自由状态,然后再将工件夹紧进行精车加工,以此达到修正工件变形的目的。

### 5.2 先内后外

对于有内孔加工需求的薄壁零件,可采用先内后外的加工顺序。相对于外圆加工而言,内孔加工的难度更高,且容易产生变形,所以应该先加工内孔,然后再加工外圆。加工时可采用芯轴装夹的方式,以内孔进行定位,然后轴向夹紧,降低工件加工时产生的变形。

## 6 合理选择刀具

刀具的选择是影响薄壁零件加工精度的因素之一,在选择刀具时要考虑到多方面因素的影响。根据工件的材质、工作环境、工作频率、加工工艺等选择适宜的刀具。对于表面轮廓较为突出的薄壁工件,可以选择 $\phi 10\text{mm}$ 立铣刀或 $\phi 8\text{mm}$ 立铣刀;对于需要钻孔的薄壁工件,可以选择 $\phi 10\text{mm}$ 机用铰刀或是 $\phi 16\text{mm}$ 镗刀;对于需要加工凹槽的薄壁工件,可以选择 $\phi 6\text{mm}$ 的立铣刀。在实际加工操作中,尽量不选择直径过小的刀具,比如 $\phi 2\text{mm}$ 或 $\phi 1\text{mm}$ 的立铣刀。因为在加工时工件受到外力的作用会产生振动,而刀具在高速旋转时会产生径向振动,两种力的叠加会增加刀具的形变量,严重时可能造成刀具的折断,在工件表面还可能产生划痕,致使工件报废。在加工孔的车孔刀杆悬伸距较大,刚性较差,极易产生振动,在径向力的作用下还容易发生让刀现象,从而影响到加工孔的精度。所以在加工薄壁零件孔时,应该尽量增加刀杆的刚性。为了减少刀具碎屑对加工精度的影响,可在车刀前开断屑槽或卷屑槽,在合适的刃倾角下控制切屑排出的方向。

## 7 提升工作人员的技术及职业素养

为了提高数控加工时薄壁零件的加工质量,除了在

客观层面制定相应的防控措施,还应该在主观层面有所改进。首先,在工艺设计阶段,工艺设计人员应该对影响薄壁零件加工精度和质量的因素进行深入分析,然后对加工工序和工艺进行优化调整,在提高加工效率的同时,减少薄壁工件的形变,提高加工精度和质量。其次,在加工阶段,操作人员要严格按照工艺流程操作,同时不断提升自身的操作技能水平和质量安全意识。操作人员还可以将薄壁零件加工时的状态及时反馈给工艺设计人员,以便设计人员及时进行调整和优化。最后,加强对数控机床的维修养护。机床操作人员做好机床的日常清洁保养,专业维修养护人员按照规范要求做好维护工作,确保机床处于正常运行状态,减少因为机床自身构件松动造成的工件振动。加强对各部门人员的培训,在机床维护、人员操作技能、人员职业道德方面做好教育培训,为机床能够维持在正常机械运转状态提供保障。

## 8 结语

薄壁零件在机械、汽车、航空、医疗等领域的应用,可促进相应行业向精密化方向发展,技术水平会得到大幅提升。但是薄壁零件在发挥作用的同时,也为薄壁零件的加工提出了更高的难度。薄壁零件一般都利用数控车床进行加工,在数控加工时,由于工件装夹受力不均,工件和刀具转动导致工件局部温度过高,切削时的颤振等,都会引起工件变形。为了提高薄壁零件加工精度,在实际加工中,还需要根据零件的壁厚、尺寸、形状、材料等各项参数来调整和优化加工工艺,应该根据影响零件加工精度的因素有针对性地制定解决措施,才能够有效解决加工精度的问题。

### 参考文献:

- [1] 张正兴,董志.小型薄壁深腔双曲面零件的数控加工技术研究[J].现代制造技术与装备,2020,56(9):52-53+56.
- [2] 刘剑龙,陆荣,孔维森,等.航天薄壁框架类零件数控加工的变形抑制方法[J].机械制造与自动化,2019,48(6):59-61.
- [3] 岳彩旭,张俊涛,刘献礼,等.薄壁件铣削过程加工变形研究进展[J].航空学报,2022,43(4):99-124.
- [4] 胡箫迪,吴国君,刘钢棒,等.薄壁镁合金材料零件数控铣削加工关键技术[J].金属加工(冷加工),2019(S2):90-92.
- [5] 赵晶,朱小明.复杂薄壁套类零件一次成形操作法的研究与实践[J].包头职业技术学院学报,2021,22(3):3-5+12.
- [6] 祝日东,裴岩,高军.薄壁套类零件工艺优化及夹具设计研究[J].造纸装备及材料,2021,50(5):34-37.