

薄壁零件的机械加工工艺分析

李雪梅

(遵义浩嘉知识产权代理事务所 贵州 遵义 563002)

摘要:薄壁零件是航空器和高速动车组的一种常用零件,其机械加工难度较大,质量影响因素较多。文章简单介绍了薄壁零件的机械加工特点,论述了薄壁零件常用的机械加工工艺,探究了薄壁零件的机械加工精度影响因素,并提出了几点提升薄壁零件的机械加工精度的策略,希望为薄壁零件的机械加工实践提供一些参考。

关键词:薄壁零件;机械加工;切削加工

0 引言

随着航空器和高速动车组技术的快速发展,薄壁零件的需求量持续攀升,对薄壁零件的加工精度、适用性等也提出了较高的要求。特别是薄壁铝型材零件,多需将其切割为若干截面,进而将切割后的不同截面焊接加工为完整的结构。薄壁零件具有形状复杂、尺寸控制要求高等特点,机械加工精度受零件刚度、走刀量等诸多因素影响。因此,探究薄壁零件的机械加工工艺及精度控制策略具有非常重要的意义。

1 薄壁零件的机械加工特点

1.1 刚度低

薄壁零件具有刚度低的特点。在机械切削加工阶段,加工者需要根据所了解的薄壁零件加工型材强度进行施加力的准确判定、调控。一旦型材机械加工力过大,就会导致薄壁零件变形。

1.2 易划伤

机械加工是使用切割、摩擦工具处理型材的过程。在处理型材的过程中,型材表面的结晶颗粒极易破碎、拉伸、挤压,进而引发晶体原子移动。一旦加工工具使用不当,就会造成型材加工面划伤。

1.3 易形变

一般情况下,薄壁零件机械加工用型材为铝,铝的线膨胀系数远远高于钢的线膨胀系数。而过高的线膨胀系数会导致铝型材加工阶段易产生大量热量,引发型材形状变化。

2 薄壁零件的机械加工工艺

2.1 基准加工

基准加工是薄壁零件机械加工工艺的一种,需要加工者由型材特性、薄壁零件应用模块着手,深层次剖析

所用型材塑性、粘附性和硬度。根据剖析结果规划薄壁零件机械加工工艺,规避切削过程的刀瘤、型材形变、热变形和划伤等问题。一般情况下,加工者需要先选取粗基准面再选取精准面。在选取粗基准面时,加工者需要依据高平整度、高光洁度和大表面的基准,利用飞边、凸起、毛刺和浇冒口处理技术进行基面处理,确保基面与薄壁零件表面应用需求相符,进而再平整表面,结合薄壁零件设计、测量、型材基准要求,进行精基准面加工,确保薄壁零件的精准性、稳定性及可靠性。

2.2 粗加工

粗加工是基准加工后实施的一种薄壁零件机械加工工艺。在薄壁零件粗加工过程中,加工者需要将薄壁零件型材加热至熔化状态,进而利用盛锭筒加热、挤压、淬火及切削,最后配合机械矫直定尺铣削。在整个过程中,根据薄壁零件持续摩擦加工过程中表面易出现晶体颗粒、加工硬化或热铣削变形的特点,可以选择铣刨加工工艺,贯彻浅深度、低转速和适宜进给量方针,确保薄壁零件加工后尺寸与设计尺寸一致。一般粗加工环节可选择的刀具为 FRAISA U5275,直径与刀尖圆角半径分别为 12mm、1.50mm,主轴转速为 15000r/min,轴向切深、径向切深分别为 1mm、7mm,加工进给量在 2 ~ 4mm/min 之间。为确保加工完毕的薄壁零件两框长度、宽度以及加工深度无差异,应进行加工路线的科学规划。加工路线则是由内层向外层逐层环向切割,在环向切割的同时对称铣削,每一层铣削深度为前期设定的轴向切割深度。在具体操作过程中,需要先铣削去除轴向切割深度的型材,再铣削去除轴向切割深度的型材,重复多次,获得厚度为 0.50mm、粗糙度为 Ra0.60、最大变形量为 0.01mm 的薄壁。在整个过程中,因型材去除前期薄壁零件自身刚性的有效应用,可以满足薄壁零件加工变形控制要求。

此外,对于薄壁类腔体零件,在 170 ~ 190℃ 的处

理环境中,因低于型材再结晶温度,对零件刚度、硬度无较大影响,且可达到残留应力消除的作用。因此,加工者应贯彻低温热处理路线,消除内在应力对薄壁零件加工过程干扰,顺利完成加工后应力的重新分配,规避加工过程零件形状异变。

2.3 精加工

精加工是薄壁零件加工的关键环节,也是核心工艺,一般需要依靠数据显示铣床、数控加工中心内高精度、高速切削和厚刀进行,在确保薄壁零件刚度的同时,降低加工过程振动,一次性定型。在精加工过程中,切屑无法有效降低切削刀具刀锋温度,加之薄壁零件型材的熔点处于较低水平,极易在刀锋前即进入半熔化状态,从而间接影响到薄壁零件的加工硬度,甚至出现薄壁零件表面凹凸缺陷等。因此,在精加工时,加工者应依据润滑性能佳、冷却性能优和黏度低的特点,选择合适的切削液,降低温度的影响,并为刀具行进提供良好的环境。

以 UF716 包装机组新型物料站关键零件 7075-T6 纸辊为例,纸辊为典型薄壁回转类零件,外直径为 62mm,内直径为 56mm,长度为 300mm,公差要求不严格,同轴度、单边壁薄要求分别为 0.03mm、3mm,外圆粗糙度要求 $Ra1.60$ 。7075-T6 纸辊精加工工艺为磨削,为避免精加工过程粗糙度与同轴度下降、振动变形问题,加工者应在以往粗车—热加工—半精车外圆与端面—线切割孔—钻孔—划线—割孔—芯轴定位与车准外圆—钳工攻丝—阳极氧化工艺路线的基础上,根据芯轴定位锁紧情况下车外圆过程易振动变形的特点,结合同轴度与粗糙度要求,进行精加工路线的变更。即利用针对 7075-T6 型材的进口碳化砂轮代替传统砂轮,利用砂轮疏松的组织克服薄壁件磨削难题,进而利用磨准外圆工序代替车准外圆工序。同时将橡胶材质的减震垫增设到磨削过程,利用减震垫缓冲校正功能,在提升纸辊薄壁零件表面粗糙度的同时,校正断面和孔的垂直度。在此基础上,利用小夹紧力,依据 $2\mu\text{m}/\text{次}$ 的进给标准,进行精磨,确保零件同轴度达到 0.01mm,粗糙度达到 $Ra1.60$ 。

3 薄壁零件的机械加工精度影响因素

3.1 弱刚度影响

薄壁零件多应用于大尺寸($4000\text{mm}\times 2000\text{mm}$)整体结构内,厚度最薄位置为 1.20mm,零件刚度处于较低的水平,极易因材料内应力、切削力、加工残余应力和材料分布不均等因素而引发弹塑性形状异变。上述因素均随机存在,事先预测难度较大,特别是在特征中间加工状态,加工余量无法包围易发生最终状态的超差形状异变发生概率较高,若后续加工刀具轨迹调整不及时,则会出现过量切削情况,致使薄壁零件报废。

3.2 刀具用量

薄壁零件结构较为复杂,需多道工序多个步骤,每一个步骤包含若干操作,每一个加工操作均存在联系,前一个操作的加工结果是下一个加工操作的基础。在机械加工环节,刀具应用频率较高,主要负责完成薄壁零件型材切割工作。在零件切割操作过程中,刀具系统因素、随机因素较多,如刀具选择、刀具轨迹和刀具切割角度等,相关因素引发的薄壁零件形状异变情况预先预测难度较大。若上述问题处理不及时,就会对薄壁零件整体加工质量造成负面影响。

3.3 装夹操作

在薄壁零件机械加工过程中,零件装夹环节较多,程序较为复杂。根据加工程序的差异,对应的装夹操作也具有一定差异。若装夹过程未按照标准要求操作,就会产生相应的变形应力,引发薄壁零件承受范围外的形状异变。

3.4 颤振问题

在薄壁件机械加工过程中,颤振问题是影响薄壁件机械加工精度的主要因素之一。一般薄壁零件颤振主要受机械加工机床固有振动影响而出现共振表现。颤振问题的存在,不仅影响了薄壁件机械加工质量,而且可以与弱刚性薄壁加工型材共同作用,引发无法弥补的薄壁零件缺陷,对薄壁零件后期使用造成干扰。

4 薄壁零件的机械加工精度提升策略

4.1 提高零件刚度

零件刚度的提高是提升薄壁零件机械加工精度的关键,需要加工者从薄壁零件荷载量着手,优选大模量、高弹性、高硬度材料。同时在加工后检测零件,根据所得到的检测点,与 CAM(计算机辅助制造, Computer Aided Manufacturing)系统拟合检测点,根据拟合到的检测点推测薄壁零件预定时期内加工状态。根据薄壁零件预定时期内加工状态,重新设计加工轨迹,完成加工后矫正。

考虑到每一次零件因弱刚度形状异变情况均存在差异,为降低轨迹重新规划劳作强度,加工者可以预先推测特征中间加工状态合格状态,即中间状态加工余量为符合公差的最终状态。基于此,根据推测结果,结合图纸要求,选择 45 钢、铝合金、GH4169 高温合金,其中高速钢用于芯端,沿着轴向进行淬火处理,高硬度、高强度高温合金材料 GH4169 则利用二次锻造成形的方式,促使端头孔与芯紧密贴合,确保大部分金属仅可向自由端流动,提高生产效率。

4.2 控制刀具用量

针对刀具用量对薄壁零件机械加工精度的影响,在薄壁零件机械加工阶段,加工者应以进给量、背吃刀量

为控制重点,根据加工阶段薄壁零件径向方向应力、背向分力分析结果,进行切削用量、进给量的适当调整。比如,将切削刀具进给量由 3m/min 提高到 5m/min。

除了提高刀具进给量外,加工者也可以从控制径向切削深度着手,进一步压缩薄壁件加工变形量,即利用变形曲线整体向下偏移趋势,围绕负偏差控制需求,选择直径为 12mm、螺旋角为 45° 的 hanita 4102 刀具,或者选择 FRAISA U5275 刀具。并根据齿数对变形量影响(齿数越多参与切削面积越大,切削力越大,加工变形量越大),尽可能降低刀具齿数(2 齿到 3 齿)。在刀具确定后,对其中一框进行大深度切削,切削进给量为 3m/min,速度为 15000r/min,深度为 6mm;另外一框进行小深度切削,切削进给量为 3m/min,速度为 15000r/min,深度为 3mm。铣刀由内层向外层逐层垂直进刀完成环向切削。

4.3 注重装夹控制

在薄壁零件的机械加工过程中,装夹工序对薄壁零件加工精度具有直接的影响。以往薄壁零件机械装夹工序多选择三爪卡盘+虎钳+压板,应力分布集中,装夹位置形状异变风险较高。因此,加工者应以装夹方式控制为重点,围绕薄壁零件、装夹位置接触过程,寻找受力更加均匀的接触方式,降低薄壁零件装夹位置形状异变风险。特别是在薄壁深腔零件加工过程中,加工者应综合考虑薄壁零件位置、装夹位置,选择适宜的装夹工具。通过提高装夹用具与零件之间的契合度,确保零件装夹位置承受应力分布面积扩大,降低形状异变几率。

根据机械加工工艺的差别,装夹方案也应该适当调整,如在薄壁零件粗加工阶段,加工者应适当提高装夹力度,以促使薄壁零件型材与装夹件紧密连接,为薄壁零件硬度、强度提高提供依据,或者将径向装夹更改为轴向装夹,从而降低装夹部分应力,控制零件装夹转移过程形状异变。

4.4 降低颤振反应

环向切削、行切和螺旋切削是以往薄壁零件机械加工时应用概率较高的刀具行走方式。在主轴转速均为 15000r/min、进给量均为 3m/min、轴向切削深度均为 3mm,以及径向切削深度均为 5mm 的情况下,选择行切引发的腹板变形量远远高于环向切削。这主要是由于环向切削充分考虑了薄壁件加工颤振,从框体中心部位着手,引发形状异变较小。加之行切过程需要全刀宽参与铣削,刀具颤振引发的磨损加速,不仅影响了薄壁零件的加工效率,而且也影响了薄壁零件的加工精度。同时,对比螺旋下刀方式(螺旋直径为 16mm)与环向切削方式可知,前者铣刀径向切削深度恒定,切削力恒定,可以有效降低切削过程不稳定颤振,确保薄壁零件加工质量。而在环向切削过程中,一旦刀具进入拐角部位,

切削力会大幅度上升,并产生一定的波动性,干扰薄壁零件机械加工过程。因此,为降低铣削加工薄壁零件颤振问题的发生概率,应优先选择螺旋下刀方式。其中螺旋切削方式包括由外层向内层、由内层向外层两种切削方案,若为前者,则会导致腹板中心位置颤振作用较强,由此引发薄壁零件大幅度变形,因此,应选择由内层向外层切削的方案。

5 结语

综上所述,在薄壁零件机械加工过程中,因薄壁零件具有弱刚性、易变形及易划伤的特点,对于实际生产的零件,其设计的理想状态零件极易存在误差。因此,在常规基准加工工艺、粗加工工艺与精加工工艺应用的基础上,加工者应适当提升薄壁零件加工型材刚度,从刀具类型、刀具走向和刀具轨迹等方面进行有效控制,结合装夹过程的管理,降低颤振等影响零件加工精度的问题出现概率,为薄壁零件加工精度的提升提供依据。

参考文献:

- [1] 储胜国. 机械加工中数控车加工薄壁组合零件工艺探讨[J]. 内燃机与配件, 2021(12): 115-116.
- [2] 王旭晖. 薄壁零件的机械加工工艺过程研究[J]. 中国设备工程, 2021(04): 137-138.
- [3] 徐宗涛, 肖冲. 高速动车组薄壁类铝型材零件机械加工工艺研究[J]. 现代制造技术与装备, 2020(11): 140-141.
- [4] 廖清华, 宾璐, 阮滢滢, 钟涛. 大长径比薄壁零件旋压工艺研究[J]. 新技术新工艺, 2021(10): 23-25.
- [5] 唐倩, 李金凤, 孙造, 王盟. 薄壁类零件加工工艺和应用[J]. 新型工业化, 2021(05): 225-226.
- [6] 淮妮, 白瑀. 基于 LOM 技术的大尺寸薄壁机械零件自动化加工方法研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2020(03): 168-170.
- [7] 李雅娜. 钛合金喷嘴零件坯料制造工艺分析与研究[J]. 电大理工, 2020(03): 16-19.
- [8] 袁昊, 陈虹宇, 李健, 刘培科. 高温合金薄壁环块类零件铣加工技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2021(04): 81-83.
- [9] 苏君, 盛青山, 徐树清. 镜筒注塑件的机械加工工艺研究与优化[J]. 机械工程师, 2021(08): 149-151.
- [10] 汪田, 赵睿, 李炜锴, 傅禹. 螺旋型切割钢丝与切割直钢丝使用性能比较研究[J]. 广东化工, 2020(09): 3-6.
- [11] 汶宏伟, 吕小强. 提高薄壁零件机械加工精度的工艺研究[J]. 新型工业化, 2020(10): 42-43.