

机械加工工艺对加工精度的影响研究

陈佰全

郑州机电工程研究所 河南 郑州 450000

摘要: 机械加工精度是衡量零件加工质量关键指标, 涵盖尺寸、形状、位置精度等评价维度, 由尺寸、形状、位置要素构成, 受工艺系统原始误差、受力变形和受热变形影响。本文探讨切削、磨削加工工艺及工艺系统特性对加工精度的影响, 提出加工工艺参数优化、路线规划、系统精度保障及精度补偿等提升加工精度的策略, 为提高机械加工质量提供参考。

关键词: 机械加工精度; 切削加工工艺; 磨削加工工艺; 工艺系统特性; 精度提升策略

引言: 在机械制造领域, 零件加工精度至关重要, 它直接决定机械产品的性能、可靠性与使用寿命。高精度加工能确保零件准确装配, 使机械系统稳定运行。然而, 实际加工中, 多种因素会影响加工精度, 如工艺系统原始误差、加工中的受力与受热变形等。深入研究机械加工对加工精度的影响, 探寻提升加工精度的有效策略, 对提高机械制造水平、增强产品市场竞争力具有重大现实意义。

1 机械加工精度基础理论

1.1 加工精度的核心内涵与评价维度

机械加工精度是衡量零件加工质量的关键指标, 它反映了加工后零件的实际几何参数与理想几何参数的符合程度^[1]。这一概念涵盖多个方面, 从宏观到微观, 从形状到位置, 全方位体现了零件加工的精准程度。评价加工精度有多个维度。尺寸精度是首要维度, 在常见的机械零件加工中, 零件尺寸的精确性要求通常以毫米为单位衡量, 例如一个轴类零件的直径尺寸要求为50毫米, 加工后实际尺寸与50毫米的接近程度就是尺寸精度的体现。在机械制造中, 零件尺寸的精确性直接影响着零件能否与其他部件正确装配, 进而影响整个机械系统的性能。形状精度则聚焦于零件加工表面的实际几何形状与理想几何形状的相符情况。例如, 圆柱面的圆度误差通常要求控制在0.01毫米以内, 平面度误差控制在0.02毫米以内等, 这些形状误差会影响零件的运动平稳性和接触性能。位置精度体现了零件上各表面、轴线或对称平面之间的实际位置与理想位置的偏差。像孔系之间的同轴度误差一般要求在0.01毫米左右, 平行度误差控制在0.01-0.03毫米等, 位置误差会对零件的装配精度和工作精度产生重要影响。

1.2 加工精度的主要构成要素

加工精度主要由三个要素构成。尺寸要素是基础,

它确定了零件的大小规格, 精确的尺寸是保证零件功能实现的前提。例如, 一个齿轮的模数为3, 齿数为20, 其分度圆直径就为60毫米, 这个尺寸的准确性直接影响齿轮的传动性能。形状要素赋予零件特定的外形, 不同的形状满足不同的使用需求, 如齿轮的齿形、螺纹的牙型等, 形状的准确性直接影响零件的传动和工作性能。以螺纹为例, 其牙型角通常为60度, 牙型角度的偏差会影响螺纹的连接强度和密封性。位置要素明确了零件各部分之间的相对位置关系, 合理的位置布局确保零件在装配后能够协同工作, 发挥整体功能。例如, 在一个箱体零件中, 各个孔的位置精度要求很高, 孔与孔之间的中心距误差通常控制在0.05毫米以内, 以保证箱体内各部件的安装和运转正常。

1.3 影响加工精度的关键因素分类框架

影响加工精度的因素众多, 可大致分为工艺系统原始误差、加工过程中的受力变形和受热变形三类。工艺系统原始误差涵盖机床、刀具、夹具等方面的误差, 如机床的几何精度误差、刀具的制造和磨损误差、夹具的定位和夹紧误差等, 这些误差在加工前就已存在, 会直接传递到零件上。加工过程中的受力变形是指零件在切削力、夹紧力等作用下产生的弹性或塑性变形, 导致零件尺寸和形状发生改变^[2]。受热变形则是由于加工过程中产生的热量使机床、刀具和零件发生热膨胀, 从而影响加工精度。

2 核心加工工艺环节对加工精度的影响

2.1 切削加工工艺对加工精度的影响

切削参数选择对加工精度有着复杂且关键的作用机制。进给量的大小直接影响加工表面的粗糙度, 进给量过大, 会使切削层厚度增加, 刀具在单位长度上的切削残留面积增大, 导致表面粗糙度变差, 进而影响加工精度。切削速度对加工精度的影响体现在多个方面, 较高

的切削速度能减少切削力,降低因切削力引起的工件变形,但过高的速度可能引发刀具磨损加剧,产生振动,反而降低精度。背吃刀量同样不可忽视,过大的背吃刀量会使切削力大幅上升,造成工件和刀具的变形,影响尺寸精度。切削刀具特性对加工精度的影响路径清晰。刀具材料的选择至关重要,不同材料在硬度、耐磨性、韧性等方面存在差异,直接影响刀具的使用寿命和切削性能,进而影响加工精度。刀具几何参数如前角、后角、主偏角等,决定了切削刃的锋利程度和切削力的分布,合理的几何参数能减小切削力,提高加工表面质量。切削运动形式对加工精度存在关联影响。主运动和进给运动的方向、速度及配合关系,决定了切削层的形状和尺寸。不恰当的运动形式会导致切削力分布不均,产生振动,使加工表面出现波纹,降低形状和位置精度。

2.2 磨削加工工艺对加工精度的影响

磨削参数设置对加工精度有调控作用。砂轮线速度、工件速度和进给量等参数相互影响,线速度提高能提高磨削效率,但可能使磨削热增加,影响工件尺寸精度;工件速度和进给量需合理搭配,否则会导致磨削表面质量下降。砂轮特性与修整状态对加工精度影响明显。砂轮的粒度、硬度、组织等特性决定了磨削能力和磨削表面质量。砂轮修整不良,会使磨粒脱落不均匀,导致磨削表面粗糙度增大,尺寸精度难以保证。磨削热产生与传导对加工精度有间接影响。磨削过程中产生的大量热量会使工件和砂轮产生热变形,改变工件尺寸和形状,影响加工精度。

3 加工工艺系统特性对加工精度的间接影响

3.1 工艺系统几何误差的传递与影响

机床作为加工核心设备,其几何误差对加工精度有基础性影响。机床各部件制造和装配难以绝对精确,会存在各种几何误差。主轴回转误差是常见的一种,主轴回转并非理想纯回转运动,会产生径向跳动、轴向窜动和角度摆动等^[3]。这些误差会直接传递到工件,导致加工表面圆度、圆柱度等形状精度下降。例如,车削加工中,主轴径向跳动会使车削出的外圆表面出现圆柱度误差,影响零件装配和使用性能。导轨直线度误差也不容忽视,导轨是机床运动部件基准,若存在直线度误差,会使刀具或工件运动中偏离理想轨迹,进而影响加工尺寸和形状精度。夹具用于确定工件在机床上的正确位置并夹紧,其几何误差会对加工精度产生约束。夹具定位元件制造精度不高或定位基准有误差,会导致工件定位不准,使加工表面与设计尺寸产生偏差。比如,定位销与工件定位孔配合间隙过大,工件加工中可能微小移

动,造成加工尺寸超差。夹具夹紧机构若设计不合理或制造误差大,夹紧工件时可能使其产生弹性变形,这种变形加工后可能无法完全恢复,影响加工精度。而且,夹具安装误差,如夹具在机床工作台安装位置不准,也会通过刀具与工件相对运动关系,间接影响加工精度。

3.2 工艺系统受力变形的精度影响机制

在加工过程中,工艺系统会受到切削力、夹紧力等多种力的作用,从而产生受力变形。切削力是引起变形的主要因素之一,当切削力作用在工艺系统上时,机床、刀具和工件都会发生不同程度的弹性变形。机床的变形会使刀具与工件的相对位置发生变化,导致加工尺寸出现误差。刀具受力变形会使切削刃的实际位置偏离理想位置,影响加工表面的形状精度。工件受力变形则会使加工表面的实际形状与理论形状产生偏差,特别是对于细长轴、薄壁件等刚性较差的工件,受力变形更为明显,严重影响加工精度。

3.3 工艺系统热变形的精度影响机制

加工过程中,切削热、摩擦热等会使工艺系统产生热变形。机床在受热后,各部件会因热膨胀系数不同而产生不均匀的热膨胀,导致机床几何精度发生变化。例如,主轴箱受热膨胀后,主轴的轴线位置会发生改变,影响加工精度。刀具受热后会伸长,使切削深度发生变化,导致加工尺寸出现误差。工件受热膨胀也会改变其尺寸和形状,加工后冷却收缩时,若收缩不均匀,还会产生残余应力,进一步影响加工精度。

3.4 工艺系统振动对加工精度的干扰影响

工艺系统在加工过程中可能会产生振动,振动会使刀具与工件之间的相对位置发生周期性变化,从而干扰加工精度。自激振动是常见的一种,它是由工艺系统内部的反馈作用引起的,一旦产生,会使加工表面出现振纹,降低表面粗糙度,影响形状精度^[4]。强迫振动则是由于外部周期性干扰力引起的,如机床传动系统的振动、地基振动等,同样会使加工表面质量下降,尺寸精度难以保证。

4 基于加工精度提升的工艺优化策略

4.1 加工工艺参数的优化配置方法

加工工艺参数对加工精度有着直接且关键的影响,合理配置这些参数是提升加工精度的重要途径。切削速度、进给量和背吃刀量等切削参数的优化需综合考虑多方面因素。切削速度的调整要依据工件材料和刀具材料特性,在保证刀具耐用度的前提下,适当提高切削速度可减少切削力,降低因切削力引起的变形,进而提升加工精度。但速度过高可能引发刀具磨损加剧和振动问

题,需权衡利弊。进给量的选择要兼顾加工表面质量和生产效率,较小的进给量有助于获得较好的表面粗糙度,但会降低生产效率;较大的进给量虽能提高效率,却可能使表面质量下降。背吃刀量的确定要结合机床刚性和工件材料硬度,在机床刚性允许的范围内,合理增大背吃刀量可减少走刀次数,提高加工效率,但过大的背吃刀量会导致切削力大幅增加,影响加工精度。此外,磨削参数如砂轮线速度、工件速度和进给量等也需进行优化,以控制磨削热和磨削力,保证磨削加工精度。

4.2 加工工艺路线的合理规划与调整

加工工艺路线的规划与调整对加工精度提升意义重大。合理的工艺路线应遵循先粗后精、先面后孔、基准先行等原则。先进行粗加工可快速去除大部分余量,为后续精加工提供较好的加工基础,减少精加工时的切削力和变形。先加工平面能为孔加工提供稳定的定位基准,保证孔的加工精度。基准先行原则确保各加工表面有准确的定位基准,避免因基准不统一而产生累积误差。同时,要根据工件的结构特点和精度要求,合理安排加工顺序和工序内容,减少装夹次数,避免因多次装夹导致的定位误差。对于复杂零件,可采用工序集中的原则,将多个加工表面在一次装夹中完成,提高各表面之间的位置精度。

4.3 工艺系统精度保障与优化措施

保障工艺系统精度是提升加工精度的基础。机床作为工艺系统的核心设备,需定期进行精度检测和调整,确保各运动部件的几何精度和运动精度。对机床导轨、主轴等关键部件进行定期维护和修复,减少磨损和变形。刀具的精度直接影响加工精度,要选用精度高、质量好的刀具,并定期检查刀具的磨损情况,及时更换磨损严重的刀具。夹具的精度也不容忽视,要保证夹具的定位元件和夹紧元件的制造精度,确保工件定位准确、夹紧可靠。此外,还要控制工艺系统的热变形,通过采

用冷却装置、改善机床散热条件等措施,减少热变形对加工精度的影响。

4.4 加工过程中的精度补偿技术思路

在加工过程中,采用精度补偿技术可有效提升加工精度。误差补偿技术通过对工艺系统存在的误差进行测量和分析,建立误差模型,然后利用补偿装置或软件对误差进行实时补偿。例如,对机床的几何误差进行补偿,可提高机床的加工精度^[5]。温度补偿技术则针对工艺系统热变形引起的误差,通过监测温度变化,利用温度-误差模型对加工过程进行补偿,减少热变形对加工精度的影响。还有力补偿技术,通过监测切削力变化,对加工过程中的受力变形进行补偿,保证加工精度。

结束语

机械加工对加工精度的影响是多方面的,切削、磨削加工工艺及工艺系统特性均会以不同方式干扰加工精度。通过优化加工工艺参数、合理规划加工工艺路线、保障工艺系统精度以及运用精度补偿技术等策略,可有效提升加工精度。在实际生产中,需综合考量各种因素,灵活运用这些策略,以实现机械加工精度的高质量提升,满足机械制造不断发展的需求。

参考文献

- [1]王瀚崧,白弘焯,刘树毅,等.机械加工对加工精度的影响研究[J].冶金与材料,2025,45(3):133-135.
- [2]牟德文.机械加工对汽车零部件精度的影响与运用研究[J].时代汽车,2025(8):130-132.
- [3]王平.机械加工中零件加工精度的影响因素及其控制策略研究[J].造纸装备及材料,2025,54(8):61-63.
- [4]李贤林.机械加工对零件加工精度的影响研究[J].创新科技研究,2025,3(10):13-14.
- [5]杨扬.机械加工对零件加工精度的影响研究[J].造纸装备及材料,2022,51(12):123-125.