

# 机械加工工艺对加工精度的影响研究

王智勇 张曼玉

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

**摘要:** 随着制造业的蓬勃发展,精度成关键。本文聚焦机械加工工艺对加工精度的影响展开研究。首先对机械加工工艺进行概述,接着深入剖析机床、刀具、夹具等因素,以及加工过程中的受力变形、热变形等对加工精度的影响机制。在此基础上,针对性地提出提升加工精度的工艺控制策略,包括优化机床参数、合理选刀具与夹具、控制加工环境、采用误差补偿技术以及加强人员培训与管理等。旨在为提高机械加工精度提供理论依据与实践指导,推动机械加工行业高质量发展。

**关键词:** 机械加工工艺;加工精度;影响机制;工艺控制策略

引言:在制造业蓬勃发展的当下,机械加工精度作为衡量产品质量的关键指标,直接关系到产品的性能、可靠性与使用寿命,对企业在市场竞争中的地位有着重要影响。机械加工工艺作为实现产品加工的核心环节,其合理性、科学性对加工精度起着决定性作用。然而,在实际加工过程中,诸多因素如机床精度、刀具磨损、夹具定位等,都会对加工精度产生不同程度的影响。深入研究机械加工工艺对加工精度的影响,探寻有效的工艺控制策略,成为提升机械加工质量、增强企业核心竞争力的迫切需求。

## 1 机械加工工艺概述

机械加工工艺是利用各种机械加工方法,将毛坯(原材料)逐步加工成符合设计要求的零件或产品的过程,它是制造业的核心技术之一,对产品的质量、性能和成本有着至关重要的影响。机械加工工艺包含一系列相互关联的工序,每个工序都有特定的加工内容和要求。常见的加工方法有车削、铣削、刨削、磨削、钻削等。车削主要用于加工回转体零件,如轴类、盘类零件;铣削可加工平面、沟槽、齿轮等各种形状;刨削适合加工平面和直线成形面;磨削能获得很高的加工精度和表面质量;钻削则用于在零件上加工孔。机械加工工艺的制定需综合考虑多方面因素。要根据零件的材料、形状、尺寸精度和表面粗糙度等要求,选择合适的加工方法和设备。同时,要合理安排工序顺序,遵循基准先行、先粗后精、先主后次等原则,确保加工过程的稳定性和高效性<sup>[1]</sup>。

## 2 机械加工工艺对加工精度的影响机制

### 2.1 机床因素

机床作为机械加工的基础设备,其精度和性能对加工精度有着直接影响。机床的几何精度,如主轴的回转

精度、导轨的直线度等,若存在误差,会使刀具与工件的相对位置发生偏差,导致加工出的零件尺寸和形状出现误差。例如,主轴回转轴线的径向跳动,会使车削加工的零件外圆出现圆度误差。机床的运动精度也至关重要,传动链中各传动元件的制造和装配误差,会引起传动比的变化,造成工作台进给不均匀,影响加工表面的粗糙度和尺寸精度。此外,机床的刚度不足,在加工过程中会产生弹性变形,使刀具与工件的相对位置改变,降低加工精度,特别是对于大型、重型零件的加工,机床刚度的影响更为显著。

### 2.2 刀具因素

刀具是直接参与切削的部件,其性能和状态对加工精度影响巨大。刀具的几何参数,如前角、后角、主偏角、副偏角等,选择不当会影响切削力的大小和方向,进而影响加工精度。例如,主偏角过小,会使径向切削力增大,导致工件变形,影响加工尺寸精度。刀具的制造精度也会带来误差,如刀具的尺寸、形状误差会直接复制到加工表面上。在加工过程中,刀具会逐渐磨损,磨损后的刀具切削刃形状改变,使切削力增大,加工表面质量下降,尺寸精度也难以保证。而且不同类型的刀具适用于不同的加工材料和加工要求,若选用不当,也会影响加工精度和加工效率。

### 2.3 夹具因素

夹具的作用是使工件在机床上保持正确的位置和姿态,其精度和性能对加工精度起着关键作用。夹具的定位元件若存在误差,会导致工件定位不准确,使加工表面的位置精度超差。例如,定位销与工件定位孔的配合间隙过大,会使工件在加工过程中产生位移。夹具的夹紧装置若夹紧力不均匀或过大,会使工件产生变形,影响加工精度。特别是对于薄壁、易变形工件,夹紧力的

控制尤为重要。此外,夹具的安装精度也会影响加工精度,若夹具在机床上的安装位置不准确,会使工件与刀具的相对位置发生改变,导致加工出的零件尺寸和形状出现偏差,无法满足设计要求<sup>[2]</sup>。

#### 2.4 加工过程中的受力变形

在机械加工过程中,工件会受到切削力、夹紧力等多种力的作用,从而产生受力变形,影响加工精度。切削力会使工件产生弹性变形和塑性变形,对于刚度较差的工件,弹性变形较为明显。例如,在车削细长轴时,由于工件刚度低,在切削力的作用下会产生弯曲变形,使加工出的轴出现中间粗、两头细的形状误差。夹紧力也会使工件产生变形,特别是当夹紧力作用点选择不当或夹紧力过大时,工件的变形会更严重。而且,在加工过程中,工件内部的残余应力也会在力的作用下重新分布,导致工件变形,影响加工精度,这种变形往往具有一定的滞后性,增加了控制难度。

#### 2.5 加工过程中的热变形

机械加工过程中,切削热和摩擦热会使工件、刀具和机床产生热变形,进而影响加工精度。切削热主要来源于切削层的塑性变形和刀具与工件、切屑的摩擦,大部分热量会传入工件和刀具中。工件受热后会膨胀,若加工尺寸较大,热膨胀量会较为显著,导致加工尺寸超差。例如,在磨削加工中,工件表面温度升高,会产生热膨胀,使磨削后的尺寸比冷态时偏大。刀具受热后会伸长,改变刀具与工件的相对位置,影响加工精度。机床在受热后,各部件也会产生热变形,如主轴箱温度升高会使主轴伸长,影响主轴的回转精度,工作台受热后会产生翘曲变形,使加工表面平面度下降,从而降低加工精度。

### 3 提升加工精度的工艺控制策略

#### 3.1 优化机床参数

(1)精准调整机床的几何精度参数。机床的几何精度是保障加工精度的基础,像主轴的回转精度、导轨的直线度等关键参数,需定期进行检测与校准。依据检测结果,运用专业的校准工具和方法,对主轴的径向跳动、轴向窜动等进行精细调整,确保主轴在高速旋转时能保持稳定的回转状态;对导轨的直线度进行修正,保证工作台移动的平稳性和准确性,从而为加工精度提供可靠的几何支撑。(2)合理设置机床的运动参数。运动参数涵盖主轴转速、进给速度和背吃刀量等。主轴转速的选择要综合考虑工件材料、刀具材质和加工表面质量要求等因素。对于硬度较高的材料,适当降低主轴转速可减少刀具磨损,提高加工稳定性;对于易加工材料,提高主轴转速能提升加工效率。

进给速度需根据加工精度和表面粗糙度要求进行优化,过快的进给速度可能导致表面粗糙度变差,过慢则会影响加工效率。背吃刀量的确定要兼顾加工精度和刀具耐用度,在保证加工质量的前提下,合理增大背吃刀量可提高加工效率。(3)优化机床的伺服系统参数。伺服系统的响应速度、精度和稳定性直接影响机床的运动控制精度。通过调整伺服系统的增益、加速度等参数,提高系统的响应速度和跟踪精度,减少机床在运动过程中的振动和误差,从而提升加工精度<sup>[3]</sup>。

#### 3.2 合理选择刀具与夹具

(1)刀具选择要适配加工要求与工件特性。从加工类型来看,粗加工时,为快速去除大量余量,应选强度高、耐用度好的刀具,像大前角、大后角的刀具可降低切削力,提高切削效率;精加工则侧重于保证加工精度和表面质量,要挑选刃口锋利、几何精度高的刀具,如精密铰刀、金刚石刀具等。依据工件材料,加工硬质材料时,刀具需具备高硬度和耐磨性,硬质合金刀具是不错的选择;加工软质材料,刀具要有良好的韧性和散热性,高速钢刀具较为合适。同时,刀具的几何参数也不容忽视,合理的主偏角、副偏角、前角和后角,能优化切削过程,减少切削力和切削热,进而提升加工精度。(2)夹具选择要确保定位精准、夹紧可靠。定位元件的精度直接影响工件的定位精度,要选择精度高、耐磨性好的定位元件,如高精度的定位销、定位块等,保证工件在夹具中的位置准确无误。夹紧装置要能提供稳定且均匀的夹紧力,既要防止工件在加工中松动,又要避免因夹紧力过大导致工件变形。再者,刀具与夹具的匹配性也十分关键。要确保刀具在夹具中的安装稳固,不会因加工过程中的振动而松动或移位,同时夹具的结构设计要便于刀具的安装和调整,以提高加工的效率 and 精度。

#### 3.3 控制加工环境

(1)温度控制是关键环节。加工环境的温度波动会引发工件和机床的热胀冷缩,进而影响加工精度。在精密加工车间,应配备完善的空调系统,将温度恒定控制在适宜范围内,例如对于高精度光学零件加工,温度需稳定在 $20^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。同时,要减少外界热源对车间的影响,如避免阳光直射、远离大型发热设备等。对于机床自身产生的热量,可通过冷却液循环系统、散热装置等进行有效散发,降低机床热变形对加工精度的影响。(2)湿度控制也不容忽视。过高或过低的湿度都会对加工过程产生不利影响。湿度过高可能导致工件生锈、刀具磨损加剧,还可能使电气元件受潮短路;湿度过低则容易产生静电,吸附灰尘,影响加工表面质量。因此,

要使用除湿机或加湿器将车间湿度控制在合理区间，一般保持在40%-70%为宜。(3)保持加工环境的清洁度至关重要。空气中的灰尘、杂质等会附着在工件表面或进入机床内部，影响加工精度和设备寿命。要定期对车间进行清扫，安装空气过滤装置，减少灰尘进入车间的机会。同时，操作人员要穿戴整洁的工作服和防护用品，避免自身携带的杂质污染加工环境。

### 3.4 采用误差补偿技术

(1)误差补偿技术基于对加工误差的精准测量与分析。通过高精度的测量设备，如激光干涉仪、三坐标测量机等，对机床的几何误差、热误差、力误差等进行全面且细致的检测。详细分析这些误差的来源、大小和方向，建立误差模型，为后续的补偿提供准确的数据支持。例如，对于机床导轨的直线度误差，测量设备能精确记录其在不同位置的偏差值，从而构建出反映直线度误差的数学模型。(2)软件补偿是常用的手段之一。利用数控系统的补偿功能，将测量得到的误差数据输入到数控程序中。在加工过程中，数控系统根据这些误差数据实时调整刀具的运动轨迹，对加工误差进行反向补偿。比如，当检测到机床存在主轴回转误差时，通过软件补偿，使刀具在切削过程中做出相应的位置调整，抵消主轴回转误差对加工精度的影响。(3)硬件补偿也发挥着重要作用。对于一些难以通过软件完全补偿的误差，可采用硬件补偿装置。例如，安装误差补偿器，它可以根据预先设定的补偿规则，对机床的运动部件进行物理调整，直接修正加工过程中的误差。硬件补偿具有响应速度快、补偿精度高的特点，能有效提高加工精度。通过软件与硬件相结合的误差补偿方式，可最大程度地减小加工误差，提升加工质量。

### 3.5 加强人员培训与管理

(1)开展全面且系统的技能培训是提升加工精度的基石。针对不同岗位的操作人员，设计专门的培训课程。对于机床操作人员，着重培训机床的操作规范、参数设置以及加工工艺流程，使其熟悉各类机床的性能特点，能够根据不同的加工要求精准调整机床参数，确保加工过程的稳定性。对于质量检测人员，强化其对加工

精度标准、检测方法和检测仪器的使用培训，让他们能够准确判断加工产品是否符合精度要求，及时发现加工过程中出现的精度偏差。(2)培养人员的质量意识和责任心至关重要。通过定期开展质量意识教育活动，让每一位员工深刻认识到加工精度对于产品质量和企业发展的重要性。建立明确的责任制度，将加工精度指标细化到每个岗位和每个人，使员工清楚自己的工作职责和质量目标。对于因人为因素导致加工精度不达标的情况，要严肃追究责任，以此增强员工的责任感，促使他们在工作中更加严谨细致。(3)鼓励员工进行技术创新和学习交流。设立创新奖励机制，激励员工积极探索提高加工精度的新方法、新工艺。定期组织内部的技术交流活动，让员工分享自己在加工过程中的经验和技巧，促进共同进步。同时，鼓励员工参加外部的培训和学术交流活动，拓宽视野，引入先进的加工理念和技术，不断提升企业的整体加工精度水平<sup>[4]</sup>。

### 结束语

机械加工工艺是制造业的基石，其与加工精度紧密交织、相互影响。通过本次研究，我们清晰认识到工艺规划、设备精度、操作水平等因素对加工精度有着多维度的塑造作用。精准的工艺设计能减少误差源头，先进的设备是精度保障的基础，而熟练规范的操作则是将工艺优势充分发挥的关键。尽管当前在提升加工精度上已取得一定成果，但制造业不断迈向高端化，对精度要求愈发严苛。未来，我们仍需持续探索创新，优化工艺，提升设备性能，强化人员素养，以推动加工精度迈向新高度。

### 参考文献

- [1]罗加祥.机械加工工艺对加工精度的影响分析[J].科技创新导报,2021,18(26):38-40.
- [2]于杰.浅谈机械加工工艺对加工精度的影响[J].中国设备工程,2021,(08):92-93
- [3]赵东一.机械加工工艺对零件加工精度的影响[J].冶金管理,2021,(01):124-125.
- [4]王雁飞,袁义娟,郭丘一.新型材料在机械制造中的应用及加工工艺分析[J].冶金与材料,2025,45(03):97-99.