

# 机械加工工艺与机械加工精度关系探究

胥 旸

中航西飞汉中航空零组件制造有限公司 陕西 汉中 723213

**摘要：**机械加工精度是衡量机械产品质量的核心指标，其受多种机械加工工艺因素影响。机床误差、刀具与夹具误差会直接改变工件加工尺寸；工艺系统受力变形与热变形则在动态加工过程中引入精度偏差。通过合理选型机床刀具、优化夹具设计、控制受力与热变形等工艺优化策略，可有效减少误差积累，提升加工精度。深入探究二者关系，对保障机械产品质量、推动制造业高质量发展具有重要现实意义。

**关键词：**机械加工；工艺；精度；关系

## 引言

在现代制造业中，机械加工精度直接决定机械产品的性能与可靠性。随着高端装备制造需求的不断提升，如何通过优化机械加工工艺保障加工精度成为行业焦点。机床、刀具、夹具等工艺要素的精度状态，以及工艺系统在受力、受热过程中的变形情况，均会对加工精度产生显著影响。本文围绕机械加工工艺对精度的影响因素展开分析，并提出针对性优化策略，旨在为提升机械加工质量提供理论与实践参考。

## 1 机械加工工艺与加工精度概述

### 1.1 机械加工工艺

机械加工工艺是通过机械加工设备对工件进行切削、磨削、成型等操作，使其达到预定形状、尺寸和表面质量要求的技术方法。其涵盖了从原材料选择、加工方法确定、加工顺序规划到加工参数设定等一系列环节。在实际生产中，机械加工工艺需依据工件材料特性、加工设备性能以及产品设计要求进行定制化规划。例如，对于硬度较高的合金钢材料，需采用硬质合金刀具配合合适的切削速度与进给量，通过车削、铣削等加工方式逐步去除材料余量；对于薄壁类零件，为避免加工变形，需采用特殊的装夹方式和分阶段加工策略。机械加工工艺过程中需综合考虑加工效率与加工成本，通过优化刀具路径、合理安排工序顺序等手段，实现高质量、高效率的零件制造，满足现代制造业对产品精度和生产周期的严格要求。

### 1.2 机械加工精度

机械加工精度反映零件加工后实际几何参数（涵盖尺寸、形状、位置）与理想参数的契合程度，是评判机械加工质量的关键指标，具体涵盖尺寸精度、形状精度以及位置精度这三个重要方面。尺寸精度通过控制零件的尺寸公差来保证，确保零件在装配时能与其他部件实

现准确配合；形状精度关注零件表面的几何形状误差，如平面度、圆度等，需通过高精度的加工设备和先进的加工工艺来控制；位置精度则涉及零件各表面之间的相对位置关系，例如平行度、垂直度等，对保证机械产品的整体性能至关重要。在实际加工过程中，机床精度、刀具磨损、工件装夹误差以及热变形等因素都会对加工精度产生影响。需采用精密测量技术实时监控加工过程，运用误差补偿技术和工艺优化手段，最大限度地减少误差累积，从而保证零件的加工精度满足设计要求。

## 2 机械加工工艺对加工精度的影响因素分析

### 2.1 机床误差

机床作为机械加工的核心载体，其自身误差直接关系到工件最终加工精度。机床误差主要体现在几何误差与运动误差两个维度。几何误差涵盖主轴回转误差、导轨误差和传动链误差。主轴回转时，由于轴承磨损、装配间隙等原因，实际回转轴线与理想轴线存在偏移，这种误差在车削、镗削加工中尤为明显，会导致工件圆柱度、圆度超差，例如在精密轴类零件加工中，微小的主轴回转误差可能使轴颈尺寸偏离设计要求，影响配合精度。导轨作为机床运动基准，其直线度、平行度误差会使刀具与工件相对运动轨迹失准，在平面铣削时造成加工平面度不达标，影响工件的装配性能与使用功能。传动链中各传动元件的制造、装配误差，如齿轮的齿形误差、丝杆的螺距误差，经累积传递，在螺纹加工、分度加工中导致螺距精度下降、分度位置偏差，降低零件的加工精度与互换性。运动误差主要因机床运动部件的动态特性引发，像伺服系统响应迟缓、部件振动等，会导致加工表面产生波纹、粗糙度上升，进而严重影响工件表面质量与使用性能<sup>[1]</sup>。

### 2.2 刀具与夹具误差

刀具与夹具的精度直接决定了工件加工的定位与成

型精度。刀具误差包括刀具的制造误差、磨损及安装误差。刀具制造时,切削刃的形状精度、刀具角度偏差会直接影响工件的成型精度,例如成型刀具的廓形误差会使加工出的工件轮廓与设计不符,在齿轮加工中,滚刀的齿形误差会导致齿轮齿形畸变,影响传动平稳性。刀具在切削过程中产生的磨损,尤其是前刀面的月牙洼磨损与后刀面的磨损带,会改变刀具的切削角度与切削刃形状,致使工件尺寸精度下降、表面粗糙度增加,随着刀具磨损加剧,加工出的孔径会逐渐变小,轴径会逐渐变大,偏离设计尺寸。刀具安装时,若装夹位置不准确、伸出长度不当,会使刀具实际切削位置与编程位置产生偏差,影响加工精度。夹具误差主要体现在定位误差与夹紧误差。定位元件的制造精度与磨损情况,会导致工件定位基准与机床、刀具的相对位置发生变化,造成尺寸误差与形位误差;夹紧力大小与作用点选择不当,会使工件产生变形,在薄壁零件加工中,过大的夹紧力可能导致工件局部变形,破坏加工精度,影响零件的使用性能与装配精度。

### 2.3 工艺系统受力变形

在切削力、夹紧力、重力等外力作用下,工艺系统会出现弹性及塑性变形,这会对加工精度造成影响。其中,切削力是致使工艺系统受力变形的关键因素。切削时,切削力的大小和方向持续改变,进而引起刀具与工件相对位置的变化。根据切削力公式,切削力与切削深度、进给量、切削速度等参数相关,当切削深度增大时,切削力显著增加,工艺系统的变形也随之增大。在车削细长轴时,由于工件刚性差,在切削力作用下会产生“让刀”现象,导致工件出现中间粗、两端细的腰鼓形误差,影响轴类零件的圆柱度。夹紧力同样会引起工件变形,尤其是对于刚性较差的工件,不合理的夹紧方式与夹紧力分布,会使工件在夹紧过程中产生局部变形,在加工完成后,工件弹性恢复,造成尺寸与形状误差。工艺系统中各部件自身的刚度也会影响受力变形,如机床主轴部件、刀架部件的刚度不足,在受力时易产生变形,导致刀具运动轨迹偏离理想位置,降低加工精度,影响零件的加工质量与装配精度<sup>[2]</sup>。

### 2.4 工艺系统热变形

工艺系统在加工过程中受切削热、摩擦热等热源影响产生热变形,对加工精度造成显著影响。切削热作为工艺系统重要热源,主要源于切削层金属弹塑性变形及刀具与工件、切屑间的摩擦。其传导与分布会改变刀具、工件及机床的温度状况,最终引发它们的热变形。在车削加工过程中,切削热会使刀具温度上升。这会导致刀

具材料硬度降低、磨损加快,而且刀具受热伸长会改变切削刃位置,进而影响工件尺寸。例如加工外圆时,刀具热伸长会使工件直径逐渐减小。工件受热后因热膨胀会改变与刀具的相对位置。像磨削薄片零件,工件单面受热会翘曲变形,磨削完冷却后恢复原状,从而造成平面度超差。机床的热变形主要源于主轴箱、进给系统等部件的发热,主轴箱的温升会使主轴轴线产生位移与倾斜,影响工件的加工精度;进给系统的热变形会导致丝杆伸长,使进给运动产生误差,影响工件的尺寸精度与表面质量。环境温度的变化也会对工艺系统产生影响,尤其是对于高精度加工,微小的温度波动都可能导致加工误差超出允许范围,降低加工精度与产品质量。

## 3 提升加工精度的机械加工工艺优化策略

### 3.1 合理选择机床与刀具

(1) 机床的精度等级与稳定性是加工精度的基础保障,需根据工件材料、形状尺寸及加工要求匹配相应的机床类型。对于精密零件加工,宜选用高精度数控机床,其具备闭环控制系统与高精度伺服驱动装置,可有效降低传动误差;大型工件的粗加工,则可选用刚性强、功率大的重型机床,确保在大切削用量下的加工稳定性。(2) 刀具材料的选择直接影响切削性能与加工精度,高速钢刀具适合复杂成型刀具制造,具有良好的工艺性与一定的耐磨性;硬质合金刀具硬度高、耐磨性强,在高速切削条件下仍能保持良好的切削性能,适用于大多数金属材料的粗精加工。陶瓷刀具与超硬刀具(如立方氮化硼、金刚石刀具)则适用于高硬度材料与精密加工。(3) 刀具几何参数对切削力、切削热及加工表面质量影响显著,前角的大小影响切削刃锋利程度与强度,后角可减少刀具后刀面与工件表面的摩擦,主偏角与副偏角的合理选择能有效控制切削宽度、残留面积高度及切削力方向。通过优化刀具几何参数,可在保证刀具耐用度的同时,提升加工表面精度。

### 3.2 优化夹具设计与使用

(1) 夹具的定位精度是保证工件加工位置精度的关键,采用六点定位原理限制工件的六个自由度,确保工件在夹具中定位准确。对于复杂形状工件,可采用组合定位方式,结合平面、圆柱面、V形块等定位元件,提高定位精度与稳定性。定位元件的制造精度与表面粗糙度需严格控制,以减少定位误差。(2) 夹紧装置的设计需遵循夹紧力大小适当、方向合理、作用点准确的原则。过大的夹紧力会使工件产生变形,过小则无法保证工件在加工过程中的稳定性。采用液压、气动夹紧系统,可实现夹紧力的精确控制,且具有夹紧动作迅速、操作方

便的优点。对于薄壁件等易变形工件,可采用多点均匀夹紧或弹性夹紧装置,减少夹紧变形。(3)夹具的刚性与结构布局影响加工过程中的振动与变形,加强夹具的支撑结构,合理布置筋板,可提高夹具的整体刚性。优化夹具的结构布局,使工件的加工部位处于夹具的刚性较好区域,减少因夹具变形导致的加工误差。定期对夹具进行维护与精度检测,及时修复或更换磨损部件,保证夹具的定位与夹紧精度<sup>[3]</sup>。

### 3.3 控制工艺系统受力变形

(1)工艺系统的刚度由机床、刀具、夹具与工件组成,系统中刚度薄弱环节对整体刚度影响显著。通过分析各部件的刚度特性,找出薄弱环节并进行强化,如增加机床导轨的刚度、提高刀具刀柄的连接刚性等。合理安排加工顺序,使切削力分布均匀,避免局部受力过大导致的系统变形。(2)切削力的大小与方向直接影响工艺系统受力变形,优化切削参数可有效控制切削力。在保证加工效率的前提下,适当减小切削深度与进给量,降低切削力;选择合理的切削速度,避开产生积屑瘤与振动的速度区域。采用合理的刀具几何参数,如增大前角、减小主偏角,可减小切削力,提高工艺系统的稳定性。(3)工件装夹方式对受力变形影响较大,对于细长轴类零件,采用中心架或跟刀架支撑,可增加工件的刚性,减少切削过程中的弯曲变形;对于薄板类零件,采用真空吸附或电磁吸盘装夹,可实现均匀夹紧,避免因夹紧力不均匀导致的变形。在加工过程中,适时调整装夹力,保证工件在加工过程中的稳定性与精度。

### 3.4 减少工艺系统热变形

(1)切削热是工艺系统热变形的主要热源,通过优化切削参数与刀具几何参数减少切削热的产生。降低切削速度、减小进给量可减少切削热;增大刀具前角,改善切削条件,降低切削温度。合理选择切削液,发挥

其冷却、润滑作用,带走切削热,降低刀具与工件的温度。(2)机床的热变形对加工精度影响显著,其带来的误差往往会严重影响产品品质。采用热对称结构设计,能使机床的热变形沿非敏感方向发展;在机床关键部位设置温度控制系统,如主轴箱采用循环冷却系统以控制主轴温升;床身导轨处采用热补偿装置,根据温度变化自动调整导轨几何精度,减少热变形对加工精度的影响。(3)工件在加工过程中的热变形会导致尺寸与形状误差,对于高精度加工,可采用恒温环境加工,将加工区域的温度控制在一定范围内,减少工件的热变形。合理安排加工工艺,粗加工后预留一定加工余量,待工件冷却后开展精加工,以此消除粗加工热变形影响,确保工件最终加工精度达标<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,机械加工工艺与加工精度紧密关联,各工艺要素的误差及工艺系统的变形均是影响加工精度的关键因素。通过科学合理地选择机床与刀具、优化夹具设计使用,有效控制工艺系统受力与热变形,能够显著提升机械加工精度。未来,随着制造技术的持续发展,需进一步深化对机械加工工艺与精度关系的研究,探索更为先进的工艺优化方法,以满足高端制造领域对加工精度的严苛要求。

### 参考文献

- [1]姚怡平.机械加工工艺与机械加工精度关系探究[J].电脑校园,2020(11):277-278.
- [2]路全新,于森.机械加工工艺与机械加工精度关系探索[J].时代农机,2020,47(2):24-25.
- [3]吕海波.机械加工工艺与加工精度关系探析[J].建筑工程技术与设计,2020(22):598.
- [4]苏以文.机械加工工艺对零件加工精度的影响研究[J].大众标准化,2021(3):16-18.