

机械加工工艺对加工精度的影响研究

张涛 庞伟强 焦健强 绳佳昆
首都航天机械有限公司 北京 100078

摘要: 机械加工工艺对加工精度影响重大。本文阐述机械加工工艺基础,包括定义、范畴及核心要素。分析其对加工精度的直接影响机制,探讨误差来源与特性。针对误差问题,提出加工设备升级、工具改进、参数调整、环境控制及智能监控补偿等优化策略,为提高机械加工精度提供理论依据与实践指导。

关键词: 机械加工工艺; 加工精度; 误差来源; 优化策略; 智能监控

引言: 在制造业中,机械加工精度是衡量产品质量的关键指标,直接关乎产品的性能、可靠性与使用寿命。机械加工工艺作为实现产品制造的核心手段,其水平高低对加工精度起着决定性作用。随着制造业的不断发展,对加工精度的要求日益严苛。深入研究机械加工对加工精度的影响,探索提高加工精度的有效策略,成为当前制造业亟待解决的重要课题。

1 机械加工工艺基础

1.1 机械加工工艺的定义与范畴

机械加工工艺借助设备工具对原材料加工,使其成为合格零件或产品。它涵盖从毛坯准备到成品检验的完整环节,是制造业实现产品制造的关键技术手段。传统加工工艺在机械制造中占有重要地位。车削通过工件旋转与刀具运动加工轴类、盘类等回转体零件,可获得较高尺寸精度和表面质量^[1]。铣削利用铣刀旋转加工平面、沟槽等形状,具有加工范围广、效率高的特点。刨削主要用于加工平面与直线成形面,在某些场合具有独特优势。磨削依靠磨具高速旋转对工件表面微量切削,可获得极高表面精度与低粗糙度,常用于精密零件的最终加工。特种加工工艺为解决难加工材料和复杂结构提供了有效途径。电火花加工利用放电高温蚀除金属,适用于硬质合金等难切削材料,如发动机涡轮盘叶片加工。激光加工通过高能量密度激光束实现切割、焊接等,具有精度高、热影响小的特点。超声波加工利用高频振动进行微切削,适用于脆性材料与微小零件。复合加工将多种方法有机结合,以提高效率与质量。例如车铣复合将车削与铣削功能集成,在一次装夹中完成多道工序,减少装夹误差,提高加工精度,广泛应用于航空航天、汽车制造等领域。

1.2 加工工艺的核心构成要素

加工设备与工具的选型与配置是确保加工工艺顺利实施的基础。需根据零件材料、形状及精度要求,

选择适宜的设备和工具。例如,加工高精度轴类零件时,需选用高精度车床与精密刀具,高精度车床的主轴回转精度可达0.002mm以内,精密刀具的尺寸精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$ 。加工参数设定直接影响加工质量和效率。切削速度、进给量和切削深度的确定需综合考虑工件材料、刀具性能和表面质量要求。切削速度过高会加剧刀具磨损,过低则影响效率;进给量与切削深度的设定应在保证质量的前提下提升生产效率,一般加工钢材时,切削速度在50-150m/min范围内,进给量在0.1-0.5mm/r范围内,切削深度在1-5mm范围内较为合适。加工环境对工艺的影响也不容忽视。温度变化会导致机床热变形和刀具热伸长,进而影响精度。振动会引起表面粗糙度增大和尺寸形状精度下降。清洁度不佳可能使杂质混入加工过程,划伤工件表面,降低加工质量。因此,需严格控制加工环境,为工艺实施创造稳定、良好的条件,一般要求加工车间温度控制在 $20\pm 2^\circ\text{C}$,相对湿度控制在40%-60%,振动加速度控制在0.01g以内。

2 机械加工对加工精度的直接影响机制

2.1 加工设备精度的作用路径

加工设备精度是保障加工精度的基石,设备刚性与稳定性发挥着关键作用。设备刚性指在切削力等外力作用下抵抗变形的能力。若刚性不足,强力切削时机床结构会产生弹性变形,导致刀具与工件间相对位置改变,使加工尺寸出现偏差^[2]。稳定性体现在设备长时间运行中保持精度不变的能力,可减少自身振动或外界干扰造成的加工误差,确保零件精度的一致性。设备传动系统精度对加工尺寸控制至关重要。传动系统负责将动力传递至刀具或工件,其精度直接影响刀具的运动轨迹和切削位置。若传动链中存在间隙或元件精度不高,会造成刀具进给时停顿或误差累积,导致加工尺寸超差。例如,齿轮传动中的齿侧间隙会使刀具换向时产生冲击,影响尺寸精度。设备控制系统的响应速度与准确性对加工精

度也有显著影响。现代设备多采用数控系统,其响应速度决定了指令执行快慢。快速响应能使刀具及时到位,提高效率并保障精度。准确性则确保控制指令与实际需求高度一致,避免因指令误差引起刀具运动偏差,影响加工精度。

2.2 加工工具对加工精度的具体影响

刀具材料与几何形状对切削效果有着直接的影响。不同材料的刀具具有不同的硬度、耐磨性和韧性。例如,硬质合金刀具硬度高、耐磨性好,适合加工硬度较高的材料;高速钢刀具韧性好,可用于制造形状复杂的刀具。刀具的几何形状,如前角、后角、主偏角等,会影响切削力的大小和方向,进而影响加工表面质量和尺寸精度。刀具磨损规律与更换周期的确定对加工精度至关重要。刀具在切削过程中会逐渐磨损,磨损到一定程度后,切削力增大、切削温度升高,会导致加工表面质量下降、尺寸精度超差。需要研究刀具的磨损规律,根据加工材料、切削参数等因素合理确定刀具的更换周期,以保证加工精度。夹具设计精度与定位准确性密切相关。夹具的作用是使工件在加工过程中保持正确的位置和姿态。若夹具设计精度不高,定位元件的制造误差或定位方式不合理,会导致工件定位不准确,从而产生定位误差,影响加工精度。

2.3 加工参数对加工精度的调控作用

切削速度与表面粗糙度存在紧密的关联性。一般来说,在一定范围内,提高切削速度可以减小表面粗糙度。这是因为高速切削时,切屑与刀具前刀面的摩擦时间缩短,切削力减小,切削温度升高使材料塑性变形减小,从而获得较好的表面质量。但切削速度过高也会使刀具磨损加剧,反而影响表面粗糙度。进给量对尺寸精度有着具体的影响。进给量增大,单位时间内刀具的进给量增加,切削层厚度增大,切削力也随之增大。这可能导致刀具产生弹性变形,使加工尺寸出现偏差,影响尺寸精度。需要根据加工要求和设备性能合理选择进给量。切削深度与形状精度的控制策略也十分重要。切削深度过大,会使切削力急剧增大,导致机床、刀具和工件产生较大的变形,从而影响形状精度。在加工过程中,应根据工件材料的性能、刀具的强度和机床的刚度等因素,合理控制切削深度,以保证形状精度。

3 机械加工工艺中的误差来源与特性分析

3.1 系统性误差的识别与分类

在机械加工工艺中,系统性误差具有规律性和可重复性,对加工精度产生稳定影响。设备误差是系统性误差的重要来源。主轴回转误差是常见设备误差,主轴

在回转过程中,因制造精度、安装误差或轴承磨损等因素,其回转轴线相对理想轴线会产生偏移,包含径向跳动、轴向窜动和角度摆动等形式,会直接反映在工件加工表面,导致圆度、圆柱度等形状精度超差^[3]。导轨直线度误差也不容忽视,导轨作为机床运动部件的导向基准,若存在直线度误差,会使运动部件在移动过程中偏离理想直线,进而使刀具与工件相对位置改变,影响加工尺寸精度。工艺系统误差同样会产生系统性影响。刀具磨损是典型因素,随着加工进行,刀具切削刃逐渐变钝,切削力增大,温度升高,既影响表面质量,也会改变加工尺寸。夹具变形也会引入误差,加工过程中夹具受切削力、夹紧力作用,若刚度不足会产生弹性变形,导致工件定位不准,影响加工精度。

3.2 随机性误差的成因与影响

随机性误差具有不确定性和不可预测性,对加工精度的影响较为复杂。环境因素是引发随机性误差的重要原因,温度波动会使机床、刀具和工件产生热变形,不同材料的热膨胀系数不同,变形程度也不一样,从而导致加工尺寸出现随机偏差。振动干扰同样不可忽视,机床自身的振动、外界环境传来的振动等,会使刀具与工件之间的相对运动不稳定,在加工表面留下振纹,降低表面质量。操作因素也会带来随机性误差。人为操作不稳定,如进给速度控制不均匀、切削深度调整不准确等,会使加工过程出现波动,影响加工精度。测量误差也具有随机性,测量工具的精度、测量方法的选择以及测量人员的操作水平等,都可能导致测量结果与真实值之间存在偏差,进而影响对加工精度的判断和控制。

3.3 误差传递与累积效应的解析

在机械加工中,单工序误差会对后续工序产生连锁反应。例如,在车削加工中,若第一道工序产生的尺寸误差未得到及时修正,在后续的铣削、磨削等工序中,这个误差会不断传递和放大,最终影响工件的最终精度。多工序加工中误差累积具有特定规律,可通过建立数学模型来描述。一般来说,各工序误差会按照一定的方式相互叠加,有的误差可能相互抵消,有的则会相互增强。通过研究误差累积规律和建立相应模型,可以预测加工误差的大小和方向,从而采取针对性的措施来减少误差累积,提高加工精度。

4 提高机械加工精度的工艺优化策略

4.1 加工设备的升级与优化

选用高精度加工设备需综合多方面考量因素。加工零件的精度要求是首要因素,对于高精度复杂零件,需选择具备高分辨率控制系统、高刚性床身结构的设备。

加工材料的特性也至关重要,如加工硬质合金等难加工材料,设备需具备足够的功率和刚性。设备的自动化程度、生产效率以及与现有生产线的兼容性等也不容忽视^[4]。设备定期维护与校准是保障加工精度的关键环节。定期维护可及时发现并更换磨损的零部件,清洁设备内部灰尘和杂物,确保设备运行顺畅。校准工作则能保证设备的各项精度指标符合要求,如主轴回转精度、导轨直线度等。实施时,应制定详细的维护校准计划,按照规定周期和专业标准进行操作,并记录相关数据以便追溯和分析。

4.2 加工工具的改进与创新

刀具材料与涂层技术取得诸多最新进展。新型刀具材料如陶瓷、立方氮化硼等,具有更高的硬度和耐磨性,能在高温下保持良好切削性能。涂层技术方面,化学气相沉积、物理气相沉积等先进工艺,可在刀具表面形成一层硬度高、摩擦系数小的涂层,显著提高刀具使用寿命和加工质量。夹具动态设计与优化是当前发展方向。动态设计考虑了夹具在加工过程中的受力变形和振动情况,通过优化结构设计和选用高刚性材料,提高夹具的动态稳定性。实践中,可采用有限元分析等方法对夹具进行模拟分析,根据结果进行改进,确保工件在加工过程中定位准确、夹紧可靠。

4.3 加工参数的精细化调整

参数优化方法的应用能有效提高加工精度。试验设计可通过合理安排试验方案,减少试验次数,快速找到最优参数组合。数值模拟则能提前预测不同参数下的加工结果,为参数选择提供依据。参数实时监测与动态调整策略可及时应对加工过程中的变化。通过安装传感器实时监测切削力、切削温度等参数,当参数偏离设定值时,控制系统自动调整切削速度、进给量等,保证加工过程稳定,提高加工精度。

4.4 加工环境的全面控制

温度与湿度控制对加工精度影响显著。可采用空调

系统调节车间温度,使其保持在恒定范围内,减少热变形误差。湿度控制可通过除湿或加湿设备,避免工件生锈和刀具磨损加剧。振动隔离与减震技术能有效降低外界振动对加工的影响。常用的方法有安装减振基础、采用隔振沟等,切断振动传播途径,为加工创造稳定环境。

4.5 加工过程的智能监控与补偿

在线检测技术具有诸多优势,能在加工过程中实时检测工件尺寸和表面质量,及时发现误差并反馈给控制系统^[5]。误差补偿策略包括软件补偿和硬件补偿,软件补偿通过修改数控程序来修正误差,硬件补偿则通过安装补偿装置直接调整刀具或工件位置,有效提高加工精度。

结束语

机械加工工艺对加工精度的影响是多方面的,系统性误差、随机性误差以及误差的传递与累积,都给加工精度带来了挑战。通过加工设备的升级优化、加工工具的改进创新、加工参数的精细化调整、加工环境的全面控制以及加工过程的智能监控与补偿等一系列策略的实施,能够有效提高机械加工精度,满足制造业对高质量产品的需求,推动制造业持续发展。

参考文献

- [1]冯丹阳,马继东,王春涛,等.机械加工工艺对加工精度的影响[J].工程机械,2024,55(9):147-149.
- [2]方理想.机械加工工艺对加工精度的影响[J].流体测量与控制,2022,3(3):40-42.
- [3]王瀚崧,白弘焯,刘树毅,等.机械加工工艺对加工精度的影响研究[J].冶金与材料,2025,45(3):133-135.
- [4]单政宇.探究机械加工工艺对零件加工精度的影响[J].机械工业标准化与质量,2024(8):33-36.
- [5]陈培勇.机械加工工艺对零件加工精度的影响及质量控制措施[J].大众标准化,2024(1):28-30.