机械加工工艺技术及误差的分析

徐磊

上海电控研究所 上海 200092

摘要: 机械加工工艺技术及其误差分析对于提升制造精度至关重要。本文详细介绍了车削、铣削和磨削等常见机械加工工艺技术的技术要点,并深入探讨了加工过程中可能出现的误差来源,包括机床误差、刀具误差、夹具误差等。根据误差特性将其分类为系统误差和随机误差,并提出了减少误差的具体措施,如提高机床精度、优化刀具选择及使用、改进夹具设计等,以期为相关领域的研究与实践提供参考。

关键词: 机械加工; 工艺技术; 加工误差; 误差分类; 减少误差措施

引言: 机械加工是现代制造业的基础工艺之一,广泛应用于各类零件的生产制造中。随着工业技术的发展,对机械加工精度的要求日益严格。在实际加工过程中,由于设备、工具、材料等多种因素的影响,难以避免地会产生各种误差,从而影响最终产品的质量。为了有效控制和减小这些误差,必须深入了解其产生原因及特点,并采取相应的预防和补偿措施。本文通过分析常见的机械加工工艺技术和误差来源,提出有效的误差控制策略,助力提升制造质量和效率。

1 常见机械加工工艺技术要点

1.1 车削加工技术

车削加工基于工件旋转、刀具进给的原理,通过刀具与工件的相对运动切除材料。该工艺可对工件外圆、内孔、螺纹等多种表面进行加工,具有加工精度高、表面质量好的特点,适用于轴类、盘类零件的加工。车床按用途和结构分为卧式车床、立式车床、转塔车床等类型。卧式车床通用性强,可完成多种车削任务;立式车床适用于加工直径大而长度短的重型零件;转塔车床则能在一次装夹中完成多个加工工序。车床主要由床身、主轴箱、刀架、进给系统等部件组成,各部件协同工作,实现精确的切削运动。刀具选择依据工件材料、加工精度和表面质量要求。高速钢刀具韧性好,适合加工有色金属和非金属材料;硬质合金刀具硬度高、耐磨性强,常用于加工钢材。刀具安装时需保证刀尖与工件回转中心等高,通过刀架上的调整机构控制刀具伸出长度与角度,确保切削稳定,避免振动和崩刃。

1.2 铣削加工技术

铣削加工依靠铣刀旋转作主运动,工件或铣刀作进给运动来切除材料。铣刀的多刃结构使其切削效率高,能加工平面、沟槽、成形面等多种表面。铣削运动包括铣刀的旋转运动和工件的直线或曲线进给运动。铣床

种类繁多,升降台铣床适用于单件小批量生产,可加工平面、沟槽等;龙门铣床刚性好,用于加工大型工件;数控铣床能实现复杂曲面的自动化加工。不同类型铣床在工作台尺寸、主轴转速范围、进给速度等方面存在差异,满足多样化加工需求。刀具路径规划影响加工效率和质量。粗加工时采用等高线铣削、型腔铣削等策略快速去除材料;精加工时使用轮廓铣削保证表面精度。切削参数选择需综合考虑工件材料、刀具性能和加工要求。铣削速度影响刀具磨损和切削热,进给量决定材料去除率,背吃刀量则关系到切削力大小,合理匹配参数可提高加工精度和刀具寿命。

1.3 磨削加工技术

磨削加工利用高速旋转的砂轮对工件表面进行切削,实质是砂轮表面无数磨粒对工件的微量切削。该工艺可获得极高的尺寸精度和表面光洁度,常用于零件的精加工工序。磨床按用途分为外圆磨床、内圆磨床、平面磨床等。外圆磨床用于磨削圆柱面和圆锥面;内圆磨床加工内孔表面;平面磨床则对平面进行磨削。磨床结构包含砂轮架、工作台、头架、尾座等,通过不同的磨削方式,如切入磨削、纵向磨削实现材料去除^[1]。砂轮选择需考虑磨料、粒度、硬度等因素。氧化铝系磨料适合磨削钢材,碳化硅系磨料用于磨削硬质合金和非金属材料。粒度号小的砂轮磨削效率高但表面粗糙,粒度号大则反之。砂轮使用前需进行修整,恢复其锋利度和几何形状。磨削液起到冷却、润滑和清洗作用,根据加工材料和工艺要求选择合适的磨削液类型和浓度,可降低磨削温度,提高加工质量。

2 机械加工误差的来源与分类

2.1 误差来源分析

2.1.1 机床误差

机床作为机械加工的核心设备,其自身误差直接影

响加工精度。机床主轴回转误差表现为纯径向跳动、轴向窜动和纯角度摆动三种形式。纯径向跳动会使工件加工表面产生圆度误差,轴向窜动则导致加工螺纹时出现螺距误差,纯角度摆动会造成工件圆柱度偏差。导轨误差对加工精度影响显著,导轨在水平面内的直线度误差,会使车削外圆时产生圆柱度误差;垂直面内的直线度误差,对平面加工的平面度有较大影响。传动链误差源于传动元件的制造误差、装配误差及磨损,在螺纹加工、齿轮加工等需要严格传动比的加工中,会导致工件的螺距误差和齿形误差。

2.1.2 刀具误差

刀具的制造误差直接决定其初始精度,刀具切削刃的形状误差、刀具角度误差,会使加工后的工件轮廓与设计要求产生偏差。刀具磨损是加工过程中不可避免的问题,刀具的前刀面磨损形成月牙洼,后刀面磨损导致刀刃钝圆半径增大,使切削力增加,加工表面粗糙度上升,尺寸精度下降。刀具磨损到一定程度后,加工误差急剧增大,严重影响工件质量。

2.1.3 夹具误差

夹具的定位误差由定位元件的制造误差、定位元件与工件定位面之间的间隙以及定位元件的磨损引起。定位误差会使工件在夹具中的位置偏离理想位置,导致加工尺寸和形状误差。夹紧误差产生于夹紧力的大小、方向和作用点选择不当。过大的夹紧力会使工件产生变形,影响加工精度;夹紧力方向不合理,无法有效限制工件自由度;夹紧力作用点选择不当,会使工件局部受力过大而变形。

2.1.4 工件装夹误差

工件在装夹过程中,定位基准位移误差是由于定位基准面本身的形状误差、表面粗糙度以及定位元件的误差,导致工件定位基准在夹具中位置发生偏移。基准不重合误差则是因为工件的设计基准与定位基准不重合,在尺寸换算过程中产生的误差。这两种误差会直接影响工件加工尺寸精度,严重时可能导致工件报废。

2.1.5 工艺系统受力变形误差

工艺系统在切削力、夹紧力、重力等外力作用下会产生变形。切削力作用下,刀具、工件和机床的变形会导致切削深度发生变化,使加工表面产生形状误差。例如,在车削细长轴时,工件在切削力作用下产生弯曲变形,形成鼓形误差^[2]。夹紧力过大,会使薄壁工件产生弹性变形,加工后松开夹具,工件弹性恢复,导致加工尺寸与形状不符合要求。

2.1.6 工艺系统受热变形误差

工艺系统的热源包括切削热、摩擦热、环境热等。切削热是主要热源,它通过传导、对流和辐射的方式传递,使刀具、工件和机床温度升高。刀具受热变形会影响切削刃的位置和形状,导致尺寸精度下降;工件受热膨胀,冷却后产生收缩,造成尺寸误差;机床受热变形,会破坏各部件之间的相对位置精度,影响加工精度。例如,主轴部件受热变形,会使主轴回转精度降低。

2.1.7 测量误差

测量过程中,测量工具的精度直接影响测量结果。量具的制造误差、刻度误差、磨损等会导致测量值偏离真实值。测量方法选择不当,如测量力大小不一致、测量基准选择错误,也会产生测量误差。环境因素,如温度、湿度、振动等,会使测量工具和工件产生变形,影响测量精度。

2.2 误差分类

2.2.1 系统误差

系统误差是在相同加工条件下,按一定规律重复出现的误差。常值系统误差的大小和方向在加工过程中保持不变,如机床主轴的纯径向跳动,在每次加工时对工件圆度误差的影响是固定的。变值系统误差的大小和方向按一定规律变化,如刀具的均匀磨损,随着加工时间增加,刀具磨损量逐渐增大,导致加工尺寸误差逐渐变大。系统误差具有可重复性和规律性,通过分析误差产生原因,可以采取相应措施进行消除或补偿。

2.2.2 随机误差

随机误差是由许多微小的、难以控制的偶然因素引起的误差。这些因素包括工艺系统的微小振动、刀具的偶然磨损、工件材料的不均匀性等。随机误差的特点是在一次加工中,误差的大小和方向是不确定的,但在大量重复加工中,随机误差符合统计规律,通常服从正态分布。虽然随机误差无法完全消除,但可以通过统计分析的方法,估算其对加工精度的影响程度,采取适当措施减小其影响,如提高工艺系统的刚性和抗振性,选择质量稳定的工件材料等。

3 减少机械加工误差的措施

3.1 提高机床精度

机床制造过程中,提高零部件加工精度需从材料选择与加工工艺两方面着手。选用力学性能优良、稳定性高的材料制造关键零部件,如主轴采用高强度合金钢,确保材料自身具备良好刚性与耐磨性。加工环节运用精密加工技术,通过高精度磨削、研磨等工艺,严格控制主轴轴颈圆度、导轨直线度等关键尺寸精度。装配精度的提升依赖精准的装配工艺,采用分组选配法确保零件

间配合间隙符合设计要求,利用激光干涉仪等精密仪器对机床各部件位置关系进行校准,保证装配后机床几何精度达标。机床使用过程中,定期维护保养是保持精度稳定性的关键。制定科学的维护计划,对机床导轨、丝杠等运动部件进行定期润滑,防止磨损加剧^[3]。定期检查机床主轴回转精度、传动链精度,发现精度下降及时调整或修复。针对长期使用导致的零部件磨损,及时更换磨损严重的部件,确保机床始终处于良好运行状态,维持加工精度稳定。

3.2 合理选择和使用刀具

根据加工材料特性选择刀具至关重要。加工硬度高的材料,需选用高硬度、高耐磨性的刀具材料,如硬质合金刀具;加工塑性材料,为避免积屑瘤产生,应选择合适前角和后角的刀具。不同加工要求对应不同刀具类型,粗加工追求效率,可选用大切削刃刀具;精加工注重精度,需选择刃口锋利、精度高的刀具。刀具的正确安装、调整和维护能有效减少误差。安装时严格按照操作规程,确保刀具安装位置准确,避免因安装不当产生跳动误差。定期对刀具进行刃磨,恢复刀具切削刃锋利度和几何角度,减少因刀具磨损导致的加工误差。使用过程中实时监测刀具磨损状态,达到磨损极限及时更换刀具,防止因刀具过度磨损影响加工精度。

3.3 优化夹具设计

夹具设计直接影响定位精度和夹紧可靠性。合理的定位方式可减少工件定位误差,采用六点定位原理确保工件在夹具中完全定位,避免过定位或欠定位现象。夹紧机构设计需兼顾夹紧力大小与方向,确保夹紧力既能固定工件防止加工中位移,又不会因过大导致工件变形。优化夹具结构可从多方面入手。简化夹具结构,减少不必要零部件,降低因零件制造误差累积导致的夹具误差。采用高强度、高刚性材料制造夹具主体,提高夹具整体刚性。提高夹具制造精度,对定位元件、夹紧元件等关键部件进行精密加工,严格控制尺寸公差和形位公差,从源头降低夹具误差,保障工件加工精度。

3.4 控制工艺系统受力变形

合理设计工艺路线与选择切削用量可减小切削力影响。将粗加工和精加工分开,粗加工去除大部分余量,精加工保证尺寸精度和表面质量,避免因一次性切削余量过大产生较大切削力。根据加工材料和刀具性能,科学选择切削速度、进给量和背吃刀量,在保证加工效率前提下,尽量减小切削力。采用辅助支撑和增加工艺系统刚度是控制受力变形的有效方法。对于细长轴类零件

加工,使用中心架或跟刀架作为辅助支撑,增强工件刚性,减少切削过程中弯曲变形。优化机床结构设计,增加关键部件截面积,提高机床整体刚性,降低工艺系统在切削力作用下的变形量,确保加工精度。

3.5 减少工艺系统受热变形

工艺系统热源主要来自切削热、摩擦热和环境热。切削过程中,刀具与工件、切屑间的摩擦产生大量切削热,机床传动部件摩擦产生摩擦热,环境温度变化也会影响工艺系统温度。这些热源导致工艺系统各部件热膨胀,破坏原有精度^[4]。采用冷却装置可有效带走切削热。在加工区域使用切削液进行冷却润滑,降低刀具和工件温度。对于机床关键部件,如主轴箱,可设置循环冷却系统,控制部件温升。控制加工环境温度,将加工车间温度维持在一定范围内,减少因环境温度变化对工艺系统精度的影响,保证加工精度稳定。

3.6 提高测量精度

选择合适测量工具和方法是保证测量精度的基础。根据工件精度要求,选用精度匹配的测量工具,高精度工件需使用千分尺、三坐标测量仪等精密量具。针对不同工件形状和尺寸,选择合适测量方法,如测量外圆尺寸可采用两点法,测量复杂曲面需使用三坐标测量法。测量过程中严格遵循操作规程可减小误差。多次测量取平均值,降低随机误差影响。正确使用测量仪器,测量前对仪器进行校准,测量时保证测量力恒定,避免因测量力变化导致测量误差。规范测量操作流程,确保测量数据准确可靠,为加工精度控制提供有效依据。

结束语

机械加工工艺技术与误差分析是制造业的重要课题。通过深入剖析常见工艺技术要点,明确误差来源与分类,并采取提高机床精度、合理选刀具等减少误差的措施,能有效提升机械加工质量。未来,随着技术发展,还需不断探索新方法,进一步优化加工工艺,降低误差,以满足制造业更高质量的发展需求。

参考文献

- [1]田冰.机械加工工艺技术误差分析与改进[J].农机使用与维修,2023,(08):62-64.
- [2]黄文.机械加工工艺技术的误差分析及优化策略[J].河北农机,2023,(10):42-44.
- [3]轩卉.机械加工工艺技术的误差分析及策略分析[J].轻工科技,2023,39(01):77-79.
- [4]陶士琦.机械加工工艺技术的误差与原因分析[J].中国设备工程,2022(11):179-181.