

机械加工工艺与机械加工精度关系探究

党 昱 姬 蒙 刘 丹 李泰岳

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘 要：机械加工工艺直接影响机械加工精度，进而影响机械产品的质量和性能。本文深入探讨了机械加工工艺与机械加工精度之间的关系，详细分析了影响机械加工精度的各种工艺因素，包括机床误差、刀具磨损、夹具精度以及工件自身特性等，并阐述了机械加工工艺的优化措施对提高加工精度的重要作用，旨在为机械加工行业提供有益的理论参考和实践指导，以提升机械产品的加工质量和生产效率。

关键词：机械加工工艺；机械加工精度；机床误差；刀具磨损；夹具精度

引言：机械加工工艺是将原材料或半成品转化为具有特定形状、尺寸和性能的机械零件的过程，而机械加工精度则是衡量机械零件加工质量的关键指标。在现代机械制造领域，高精度的机械零件对于保证机械产品的性能、可靠性和使用寿命至关重要。随着科技的不断进步，各行业对机械产品的精度要求越来越高，因此，深入研究机械加工工艺与机械加工精度之间的关系具有极为重要的现实意义。通过优化机械加工工艺，可以有效地减少加工误差，提高机械加工精度，从而满足市场对高品质机械产品的需求，提升企业的竞争力。

1 机械加工工艺概述

机械加工工艺是指利用各种机械加工方法对工件进行加工的过程，其涵盖了从工件的定位装夹、切削加工到加工后的检验等一系列工序。机械加工工艺的制定需要综合考虑工件的材料特性、形状结构、尺寸精度要求以及生产批量等因素。在机械加工过程中，常见的加工方法包括车削、铣削、刨削、磨削、钻削等，每种加工方法都有其特定的加工原理、刀具运动轨迹和适用范围。例如，车削主要用于加工回转体零件，通过工件的旋转和刀具的直线进给运动来实现对零件外圆、内孔、螺纹等表面的加工；铣削则适用于平面、轮廓及各种复杂形状表面的加工，通过刀具的旋转和工件的进给运动来完成切削过程^[1]。

机械加工工艺流程一般包括以下几个步骤：首先是工件的毛坯准备，根据零件的设计要求选择合适的材料和毛坯制造方法，如铸造、锻造、轧制等；然后是对毛坯进行基准面的加工，为后续的工序提供准确的定位基准；接下来是进行各表面的粗加工、半精加工和精加工，逐步提高零件的尺寸精度和表面质量；在加工过程中，需要合理选择切削参数，如切削速度、进给量和切削深度等，以保证加工效率和加工精度的平衡；最后是

对加工完成的零件进行检验，检验项目包括尺寸精度、形状精度、位置精度以及表面粗糙度等，对于不合格的零件需要进行分析 and 返修，以确保产品质量符合要求。

2 机械加工精度的内涵

机械加工精度是指零件加工后的实际几何参数（尺寸、形状和位置）与理想几何参数的符合程度。机械加工精度包括尺寸精度、形状精度和位置精度三个方面。

2.1 尺寸精度

尺寸精度是机械加工精度的基本组成部分，它要求零件的实际尺寸必须严格控制在允许的公差范围内。这一公差范围通常是根据零件的使用需求和装配要求来设定的，以确保零件之间的配合性质，如间隙配合、过渡配合或过盈配合，能够满足设计要求。在实际生产中，尺寸精度的控制主要依赖于高精度的测量设备和先进的加工工艺。例如，使用高精度的游标卡尺、千分尺或三坐标测量仪等设备对零件进行测量，以确保其尺寸符合设计要求。同时，通过优化切削参数、选择合适的刀具材料和形状、以及采用先进的加工设备和技术，如数控加工中心和激光切割等，可以进一步提高尺寸精度的控制水平。尺寸精度的高低不仅影响零件的配合性质，还直接关系到机械产品的装配性能和使用性能^[2]。

2.2 形状精度

形状精度是指零件的实际形状与理想形状的接近程度。这一精度要求零件在加工过程中必须保持其设计形状的完整性，不得出现明显的变形或扭曲。常见的形状精度项目包括直线度、平面度、圆度、圆柱度等。形状精度的控制主要依赖于机床的精度、刀具的形状以及切削工艺参数等因素。例如，在数控车削加工中，通过优化刀具路径和切削参数，可以减少零件的变形和扭曲，提高形状精度。同时，使用高精度的刀具和机床，以及采用先进的加工技术和工艺，如镜面加工和超声波加工

等,也可以进一步提高形状精度的控制水平。形状精度的高低直接影响零件在机械结构中的定位精度和工作稳定性。

2.3 位置精度

位置精度在机械加工中扮演着至关重要的角色。它不仅仅是一个简单的几何参数,更是决定机械系统性能和稳定性的关键因素。例如,在轴类与孔类零件的装配过程中,同轴度的精确控制至关重要。如果轴的中心线与孔的中心线存在偏差,将直接影响装配的顺利进行,甚至可能导致装配后的零件在运转过程中产生严重的磨损和振动,进而影响整个机械系统的稳定性和寿命。为了确保位置精度,加工过程中需要采用精确的夹具进行定位,以确保零件在加工过程中的稳定性。

3 机械加工工艺对机械加工精度的影响因素

3.1 机床误差

机床是机械加工的主要设备,其自身的精度直接影响着机械加工精度。机床误差主要包括机床导轨误差、主轴误差和传动链误差。机床导轨误差会导致刀具与工件之间的相对运动不准确,从而影响零件的形状精度和位置精度。例如,导轨的直线度误差会使车削出的工件产生圆柱度误差,平面磨削时导轨的垂直度误差会导致工件的平面度误差。主轴误差主要包括主轴的径向跳动、轴向窜动和纯角度摆动。主轴的径向跳动会使车削后的工件产生圆度误差,轴向窜动会影响车削螺纹的螺距精度,纯角度摆动则会导致加工出的工件表面形成锥度。传动链误差是指机床传动系统中由于传动元件的制造误差、装配误差以及磨损等原因引起的传动比不准确,从而造成刀具与工件之间的运动关系出现偏差。在滚齿加工中,传动链误差会直接影响齿轮的齿距精度和齿形精度。

3.2 刀具磨损

刀具在切削过程中会不可避免地发生磨损,刀具磨损会改变刀具的几何形状和切削性能,从而影响机械加工精度。刀具磨损主要有以下几种形式:前刀面磨损:在切削过程中,切屑与刀具前刀面发生强烈的摩擦和挤压,导致前刀面月牙洼磨损。前刀面磨损会使刀具的前角减小,切削力增大,进而影响工件的尺寸精度和表面质量。后刀面磨损:刀具后刀面与工件加工表面之间的摩擦会导致后刀面磨损,后刀面磨损会使刀具的切削刃变钝,工件的尺寸精度会随着刀具磨损量的增加而逐渐降低,同时表面粗糙度也会变差。刀具的边界磨损:主要发生在刀具的主切削刃与副切削刃的交界处,边界磨损会使工件的加工边缘出现毛刺、塌角等缺陷,影响零

件的形状精度和表面完整性。

3.3 夹具精度

夹具在机械加工中起着定位和夹紧工件的重要作用,夹具的精度直接关系到工件在机床上的安装位置精度和加工过程中的稳定性。如果夹具的定位元件精度不高,如定位销、定位面等存在制造误差或磨损,会导致工件的定位不准确,从而使加工后的零件位置精度出现偏差。例如,在钻床夹具中,如果钻套的中心与定位元件的中心不重合,钻出的孔位置就会偏离理想位置。此外,夹具的夹紧力大小和分布也会影响工件的加工精度。夹紧力过大可能会使工件产生变形,尤其是对于薄壁零件或刚性较差的零件,这种变形会导致加工后的零件形状精度和尺寸精度不符合要求;夹紧力过小则可能使工件在加工过程中发生位移,影响加工精度和加工安全^[3]。

3.4 工件自身特性

工件的材料特性、形状结构以及尺寸大小等自身特性也会对机械加工精度产生影响。不同材料的工件具有不同的硬度、强度、韧性和热导率等物理性能,这些性能会影响切削过程中的切削力、切削热和刀具磨损情况,进而影响加工精度。例如,硬度较高的材料切削时切削力大,容易引起工件和刀具的变形,加工精度较难保证;而热导率低的材料在切削过程中容易产生局部高温,导致工件热变形,影响尺寸精度和形状精度。工件的形状结构复杂程度也会增加加工难度,例如具有薄壁、深孔、窄槽等特征的零件,在加工过程中容易发生变形和振动,对加工精度造成不利影响。此外,工件的尺寸大小不同,其加工工艺性也有所不同,大尺寸工件在加工时由于自重较大,容易产生装夹变形和机床变形,从而影响加工精度。

4 机械加工工艺的优化措施以提高加工精度

4.1 机床的选择与维护

在机械加工中,根据工件的精度要求和加工工艺特点选择合适的机床至关重要。对于高精度的零件加工,应优先选用精度等级较高、稳定性好的机床。例如,在加工精密齿轮时,可选用高精度的滚齿机或磨齿机;在加工精密平面时,选用高精度的平面磨床或数控加工中心。同时,要加强机床的日常维护保养,定期对机床的导轨、主轴、传动系统等关键部件进行检查、调整和润滑,及时更换磨损的零部件,确保机床始终处于良好的工作状态。例如,定期检查机床导轨的直线度和平面度,通过刮研或磨削等方法进行修复;对主轴的径向跳动和轴向窜动进行检测和调整,保证主轴的旋转精度;对传动链进行精度校准,减少传动链误差对加工精度的

影响。

4.2 刀具的合理选用与管理

正确选择刀具材料、几何参数和切削参数是提高机械加工精度的关键措施之一。根据工件的材料性质和加工要求选择合适的刀具材料,如高速钢刀具适用于低速切削、加工有色金属等较软材料;硬质合金刀具具有较高的硬度和耐磨性,广泛应用于各种钢材的切削加工;陶瓷刀具和立方氮化硼刀具则适用于高速切削和加工高硬度材料。在刀具几何参数方面,合理确定刀具的前角、后角、主偏角、副偏角等参数,以减小切削力、降低刀具磨损和提高加工表面质量。例如,增大刀具前角可以减小切削力,但前角过大则会削弱刀具强度;减小刀具副偏角可以降低工件表面粗糙度。此外,优化切削参数,如切削速度、进给量和切削深度,根据刀具材料、工件材料和机床性能等因素进行合理匹配,以提高加工精度和加工效率。同时,要加强刀具的管理,建立刀具磨损监测和更换制度,及时更换磨损严重的刀具,确保刀具在良好的切削状态下工作。

4.3 夹具的优化设计

夹具的优化设计对于提高机械加工精度具有重要意义。首先,提高夹具定位元件的精度,采用高精度的制造工艺和材料来制作定位销、定位面等元件,确保工件在夹具中的定位准确可靠。例如,采用磨削或研磨工艺加工定位面,使其平面度和表面粗糙度达到较高要求。其次,合理设计夹具的夹紧机构,根据工件的形状结构和材料特性选择合适的夹紧方式和夹紧力大小,保证工件在加工过程中既不会发生位移也不会产生过度变形。例如,对于薄壁零件可采用均布的多点夹紧或采用弹性夹紧元件,以减小夹紧变形。此外,在夹具设计中还应考虑夹具的通用性和可调整性,以适应不同尺寸和形状的工件加工,提高夹具的使用效率和经济性。

4.4 加工工艺参数的优化

加工工艺参数的优化是提高机械加工精度的重要手段。通过理论分析、实验研究和数值模拟等方法,确定最佳的切削速度、进给量和切削深度等工艺参数。例如,在车削加工中,根据工件材料的硬度、刀具材料和机床功率等条件,利用切削力模型和刀具磨损模型来优化切削参数,以减小切削力、降低刀具磨损和提高加工精度。在铣削加工中,合理选择铣削方式(如顺铣或逆铣)、铣刀类型和铣削参数,以减少工件的表面粗糙度和形状误差。同时,在加工过程中要根据实际情况对工艺参数进行动态调整,例如当刀具磨损到一定程度时,适当降低切削速度或进给量,以保证加工精度的稳定性。此外,采用先进的加工工艺技术,如高速切削、精密磨削、电火花加工等,可以进一步提高机械加工精度和表面质量。高速切削可以减小切削力和切削热,降低工件的变形;精密磨削能够实现对零件表面的超精加工,获得极高的尺寸精度和表面粗糙度;电火花加工则适用于加工高硬度、复杂形状的零件,可提高加工精度和加工效率。

结论:在现代机械制造行业中,不断深入研究机械加工工艺与机械加工精度的关系,持续改进和创新机械加工工艺技术,对于提高机械产品的质量和性能、增强企业的市场竞争力具有极为重要的意义。随着科技的不断进步,新的加工工艺方法和技术将不断涌现,机械加工精度也将不断提升,从而推动机械制造行业向更高精度、更高效率和更智能化的方向发展。

参考文献

- [1]谭赞良.机械加工工艺对加工精度的影响分析[J].内燃机与配件,2023,(20):142-144
- [2]李新,李俊杰.机械加工工艺对零件加工精度的影响及优化措施[J].制造业自动化,2023,45(11):131-133
- [3]江敦清.机械加工工艺与零件加工精度的关系探究[J].现代制造工程,2023,(10):1-6