

机械制造中的高精度加工技术及其质量控制

陈 旭

天津特瑞科航空装备有限公司 天津 300304

摘 要: 现代制造业快速发展,对机械产品精度要求越来越高,高精度加工技术及其质量控制成为机械制造核心研究内容。本文阐述高精度加工技术分类与原理,分析关键影响因素,探讨质量控制体系构建,以及技术实施路径与保障措施。目的是为机械制造企业提升高精度加工水平、保障产品质量提供理论和实践参考,推动机械制造行业向高精度、高质量发展。

关键词: 机械制造;高精度加工技术;质量控制;超精密加工

引言:

科技快速发展时代,机械制造行业是国家工业重要支柱,产品精度和质量影响众多领域发展。从航空航天精密零部件制造,到电子设备微型元器件加工,高精度加工技术应用越来越广泛。高精度加工技术能提高产品性能和可靠性,还能降低成本、提高生产效率。但是,高精度加工受多种因素影响,容易产生加工误差,影响产品质量。所以,研究高精度加工技术及其质量控制有重要现实意义。本文将全面深入探讨高精度加工技术分类、原理、影响因素、质量控制体系,以及实施路径与保障措施。

1. 高精度加工技术的分类与原理

1.1 超精密加工技术

超精密加工技术指加工精度达到亚微米级(0.1 – 1 微米)、纳米级(0.001 – 0.1 微米)甚至更高精度的加工技术。主要加工方法有超精密切削、超精密磨削、超精密研磨与抛光等。超精密切削用高精度机床和锋利刀具,在很小切削深度下加工,获得高表面质量和尺寸精度。比如光学镜片加工,超精密切削技术能让镜片表面粗糙度达到纳米级,保证光学性能。超精密磨削用细粒度砂轮,通过精确控制磨削参数,实现工件表面高精度加工。超精密研磨与抛光通过研磨剂和抛光工具与工件表面作用,去除微小加工余量,进一步提高表面质量和形状精度。随着材料科学和加工技术发展,超精密加工技术向更高精度、更大尺寸范围和更复杂形状加工方向发展。

1.2 微细加工技术

微细加工技术主要用于制造微小尺寸零部件和结构,加工尺寸范围通常在微米级到纳米级。该技术包括光刻加

工、电子束加工、离子束加工等多种方法。光刻加工利用光曝光原理,通过掩膜把图案转移到光刻胶上,再经过显影、刻蚀等工艺,在工件表面形成微小结构。电子束加工利用高速电子束能量,对工件材料进行去除、改性或沉积。离子束加工通过离子束溅射作用,实现工件表面刻蚀或镀膜。微细加工技术在微电子、微机电系统(MEMS)等领域应用广泛,如芯片制造、微型传感器和执行器加工等。未来,微细加工技术向更高分辨率、更高集成度和更低功耗方向发展,满足电子信息产业发展需求。

1.3 特种加工技术

特种加工技术指利用电能、热能、化学能、光能等非机械能进行加工的方法,主要包括电火花加工、激光加工、电解加工等。电火花加工基于脉冲放电腐蚀原理,通过工具电极与工件之间脉冲放电,去除工件材料实现加工。它能加工传统切削加工难加工的硬、脆、韧等特殊材料,以及复杂形状零件。激光加工利用高能量密度激光束,使工件材料瞬间熔化、汽化或发生化学反应,实现材料去除、焊接、表面处理等加工。电解加工利用金属在电解液中阳极溶解原理,使工件材料逐渐被去除。特种加工技术加工范围广、精度高、表面质量好,在航空航天、模具制造等领域发挥重要作用。随着技术进步,特种加工技术在加工精度、效率和质量等方面不断提升^[1]。

2. 高精度加工中的关键影响因素分析

2.1 机床精度与动态特性

机床是高精度加工基础设备,其精度和动态特性对加工质量影响很大。机床几何精度包括导轨直线度、主轴回转精度等,直接决定工件加工尺寸精度和形状精度。例如导轨直

线度误差会让工件加工时出现直线度偏差,影响产品质量。机床动态特性,如振动特性、热变形特性等,也显著影响加工精度。机床加工时,因切削力、摩擦力等因素产生振动,振动使刀具与工件相对位置变化,导致加工表面出现波纹,降低表面质量。同时,机床长时间运行产生热量,引起热变形,进而影响加工精度。所以,提高机床精度和动态特性是实现高精度加工的关键。

2.2 刀具与工件材料特性

刀具和工件材料特性直接影响加工过程和加工质量。刀具材料、几何形状和磨损情况对切削力、切削温度和加工表面质量有重要影响。不同刀具材料硬度、耐磨性和耐热性不同,选择合适刀具材料能提高刀具寿命和加工效率。比如硬质合金刀具硬度高、耐磨性好,适用于高速切削;陶瓷刀具耐热性更高,适合加工难加工材料。刀具几何形状,如刀具前角、后角、刃倾角等,影响切削力大小和方向,进而影响加工精度和表面质量。工件材料物理性能(如硬度、强度、韧性等)和化学性能(如耐腐蚀性等)也影响加工过程。例如硬度高的工件材料需要更大切削力,容易使刀具磨损,影响加工精度;韧性好的材料加工时容易产生切屑缠绕,影响加工表面质量。

2.3 工艺参数的耦合作用

高精度加工过程中,工艺参数之间存在复杂耦合作用,对加工质量产生综合影响。工艺参数主要有切削速度、进给量、切削深度等。提高切削速度可提高加工效率,但会增加切削温度,使刀具磨损加剧,影响加工精度和表面质量;增大进给量能提高加工效率,但会使切削力增大,容易引起振动,降低表面质量。切削深度变化也影响切削力和切削温度。此外,不同工艺参数相互影响,比如一定范围内提高切削速度可降低切削力,但切削速度过高时,切削温度升高,反而使切削力增大。因此,高精度加工中需综合考虑各工艺参数耦合关系,优化工艺参数组合,实现最佳加工效果。

2.4 环境与辅助系统干扰

环境因素和辅助系统对高精度加工质量有重要影响。环境因素主要包括温度、湿度、振动和洁净度等。温度变化会使工件和机床产生热变形,影响加工精度。例如精密加工车间通常要控制环境温度在一定范围,减少热变形对加工精度的影响。湿度变化可能改变工件材料性能,影响加工质量。外界振动通过地基传递到机床,干扰加工过程,降低加工精

度。洁净度对高精度加工很重要,微小灰尘颗粒可能划伤工件表面,影响表面质量。辅助系统,如冷却润滑系统、排屑系统等,也影响加工质量。冷却润滑系统能降低切削温度、减少刀具磨损、提高加工表面质量;排屑系统正常运行可及时排除切屑,避免切屑干扰加工过程^[2]。

3. 高精度加工的质量控制体系构建

3.1 质量策划与目标分解

质量策划是高精度加工质量控制的起点,包括制定质量方针、质量目标以及实现质量目标的措施和方法。质量方针应体现企业对高精度加工质量的追求和承诺,为质量控制提供方向。质量目标要具体、可衡量,比如将加工尺寸精度控制在 ± 0.001 毫米以内,表面粗糙度达到Ra0.1微米等。制定质量目标后,需将其分解到各个部门、工序和岗位,明确每个环节质量责任和要求。例如把产品整体质量目标分解到机床调试、刀具选择、加工操作、质量检验等各个环节,确保每个环节都为实现整体质量目标作贡献。

3.2 过程监控与数据采集

过程监控与数据采集是高精度加工质量控制的重要环节。通过在加工过程安装各种传感器,实时采集加工过程关键参数,如切削力、切削温度、振动、位移等。这些数据反映加工过程状态,为质量控制提供依据。例如监测切削力变化,可判断刀具磨损情况和切削过程是否正常;监测振动信号,能及时发现机床异常振动,避免加工质量问题。同时,利用数据采集系统存储传输采集数据,以便后续分析处理。

3.3 统计过程控制(SPC)应用

统计过程控制(SPC)是基于统计学原理的质量控制方法,通过统计分析加工过程数据,判断过程是否稳定,及时发现过程异常波动,并采取措施调整。高精度加工中,SPC可用于加工尺寸、表面质量等方面控制。例如收集加工尺寸数据,绘制控制图,根据控制图界限判断加工过程是否稳定。如果数据点超出控制界限或分布规律异常,说明加工过程有异常,需及时查找原因并调整。同时,利用SPC还可评估加工过程能力,为工艺改进和质量提升提供依据。

3.4 质量追溯与改进机制

质量追溯与改进机制可确保出现质量问题时,快速准确找出原因,并采取有效改进措施。质量追溯指通过记录管理产品生产过程信息,实现产品质量追踪溯源。产品出现质量问题时,可通过追溯系统查找原材料来源、加工工艺、操

作人员等信息,确定问题产生环节和原因。质量改进根据质量追溯结果,针对问题制定改进措施,优化加工工艺、加强人员培训、改进设备等,防止类似问题再次发生。同时,建立质量改进反馈机制,将改进措施实施效果及时反馈给相关部门和人员,不断完善质量控制体系^[3]。

3.5 标准体系与认证要求

建立完善标准体系和满足相关认证要求是保证高精度加工质量的重要保障。标准体系包括国家标准、行业标准和企业标准等,涵盖高精度加工各个方面,如加工工艺标准、质量检验标准、设备维护标准等。企业应严格按标准体系生产管理,确保产品质量符合要求。同时,积极参与相关质量认证,如 ISO 9001 质量管理体系认证、ISO 14001 环境管理体系认证等,通过认证规范企业质量管理行为,提高企业质量管理水平和市场竞争力。此外,随着国际市场发展,企业还需关注国际标准和国外先进标准,满足不同客户需求。

4. 高精度加工技术的实施路径与保障措施

4.1 技术路线选择策略

选择合适技术路线是高精度加工技术实施的关键。企业应根据自身实际情况,如产品需求、技术实力、资金状况等,综合考虑各种高精度加工技术特点和适用范围,选择最适合的技术路线。比如加工精度要求极高的光学镜片,应优先选择超精密加工技术;微小尺寸电子元器件加工,微细加工技术更合适。同时,企业应关注技术发展趋势,适时引进应用新技术、新工艺,不断提升自身高精度加工技术水平。选择技术路线时,还可考虑与科研机构、高校等合作,借助外部技术力量,加快技术创新和应用步伐^[4]。

4.2 人员能力建设

人员是高精度加工技术实施的核心要素,加强人员能力建设是保障高精度加工质量的重要措施。企业应加强员工培训,提高员工专业技能和质量意识。培训内容包括高精度加工技术理论知识、操作技能、质量控制方法等。例如定期组织员工参加高精度加工技术培训课程和讲座,邀请行业专家授课指导。同时,鼓励员工自主学习和创新,开展技术交流和经验分享活动,营造良好学习氛围。此外,建立合理绩效考核和激励机制,对表现优秀的员工给予奖励,激发员工工作积极性和创造性。

4.3 设备管理优化

设备是高精度加工的重要物质基础,优化设备管理对

保证加工质量和提高生产效率至关重要。企业应建立完善设备管理制度,包括设备采购、安装调试、使用维护、维修保养、报废更新等环节。设备采购时,应选择质量可靠、精度高、性能稳定的设备,并根据加工需求合理配置设备。设备使用过程中,严格按操作规程操作,定期维护保养设备,及时发现解决设备存在的问题。同时,利用先进设备监测技术,实时监测设备运行状态,预测设备故障,提前维修更换,减少设备故障对生产的影响。此外,定期对设备进行精度校准和升级改造,适应高精度加工技术发展需求。

4.4 供应链协同保障

高精度加工技术实施需要整个供应链协同配合。企业应与供应商、合作伙伴建立良好合作关系,确保原材料、零部件等质量和供应稳定性。选择供应商时,应严格评估筛选,选择质量可靠、信誉良好的供应商。同时,与供应商保持密切沟通协作,共同解决原材料和零部件在质量、供应等方面存在的问题。例如与供应商共同研发新材料、新工艺,提高原材料和零部件质量和性能。此外,加强供应链信息化管理,实现信息共享和快速传递,提高供应链响应速度和协同效率,为高精度加工技术实施提供有力保障^[5]。

4.5 风险管理与应急预案

高精度加工技术实施过程中存在各种风险,如技术风险、质量风险、设备风险、市场风险等。企业应建立风险管理体系,对各种风险进行识别、评估和控制。通过分析预测加工过程,识别可能存在的风险因素,并评估其发生概率和影响程度。针对不同风险,制定相应风险控制措施,如技术研发、质量改进、设备维护、市场调研等。同时,制定应急预案,应对可能出现的突发情况。例如设备故障导致生产中断时,应急预案应明确如何快速修复设备、调整生产计划,减少损失。定期对应急预案进行演练和评估,确保其有效性和可行性。

结语:高精度加工技术及其质量控制是机械制造领域关键技术,对提高产品质量、增强企业竞争力有重要意义。本文系统阐述高精度加工技术分类与原理,深入分析影响高精度加工的关键因素,详细探讨高精度加工质量控制体系构建,以及实施路径与保障措施。随着科技进步,高精度加工技术将不断发展创新,质量控制体系也将更加完善。机械制造企业应关注高精度加工技术发展动态,加强技术创新和管理创新,提高高精度加工水平和质量控制能力,适应市场需

求和行业发展趋势,在激烈市场竞争中站稳脚跟。

参考文献:

[1] 戢金国,黄佳雯,李新平.数控技术在机械制造中的应用[J].造纸装备及材料,2025,54(03):76-78.

[2] 王明廷,杜学芸,周玉林.高精度模具加工技术在机械制造中的应用[J].中国农机装备,2024,(10):40-43.

[3] 陈艳艳.机械加工中对精度加工制造造成的影响研究[J].内燃机与配件,2022,(04):51-53.

[4] 焦太安.机械加工中对精度加工制造造成影响的因素[J].内燃机与配件,2019,(10):86-87.

[5] 张凯,杨勇,王家斌,等.机械加工对精度加工制造的影响[J].山东工业技术,2018,(22):13.

作者简介: 陈旭,出生年月日:1998年3月29日,男,汉族,籍贯:甘肃张掖临泽县,学历:专科,职称:中级,研究方向:机械