

浅析机械加工制造工艺

陈科锋

西安皓森精铸股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要：机械加工制造工艺是工业生产的基石，贯穿于产品从设计到成型的全过程，直接影响产品质量、生产效率与制造成本。本文对机械加工制造工艺展开深入剖析。先阐述基础理论，涵盖基本概念、流程及工艺规划设计；进而探讨关键技术，包括切削、成型、自动化和精密制造技术等多个维度；随后分析其面临的技术瓶颈、市场竞争、环保要求等挑战，并针对性提出技术创新、优化管理、发展绿色制造等应对策略。研究旨在为机械加工制造工艺的进一步发展提供理论参考，助力制造业在复杂环境下实现高质量发展，提升行业整体竞争力。

关键词：机械加工；制造工艺

引言：在现代工业体系中，机械加工制造工艺是推动制造业发展的关键力量，其技术水平直接影响着产品质量、生产效率和企业竞争力。随着科技的飞速发展，航空航天、汽车制造、电子信息等领域对机械加工制造工艺提出了更高要求。从传统的手工加工到如今的自动化、智能化制造，机械加工制造工艺不断革新。同时，全球制造业竞争加剧，环保理念深入人心，这使得机械加工制造工艺在面临技术突破需求的同时，还要兼顾可持续发展。因此，深入剖析机械加工制造工艺，对推动制造业转型升级具有重要意义。

1 机械加工制造工艺基础理论

1.1 基本概念与流程

机械加工制造工艺是指通过机械加工设备改变原材料的形状、尺寸、性能，从而生产出符合设计要求产品的一系列技术方法和过程。其核心目的在于将毛坯转化为具有特定功能和精度的零件或产品。在整个流程中，首先需根据产品设计图纸，确定加工对象和技术要求；接着选择合适的加工设备与工艺方法，例如车削、铣削、磨削等；然后进行加工操作，严格控制加工精度和表面质量；最后通过检测检验，确保产品符合标准。该流程涉及多个环节，各环节紧密相连，任一环节出现问题都可能影响最终产品质量。机械加工制造工艺的基本概念与流程是后续深入研究和实践的基石，对保障生产顺利进行、提高产品质量至关重要。

1.2 工艺规划与设计

工艺规划与设计是机械加工制造中承上启下的关键环节。它以产品设计信息为依据，综合考虑生产批量、加工成本、设备条件等因素，制定出合理的加工工艺方案。在工艺规划阶段，需分析产品结构特点，确定加工方法和加工顺序，划分加工阶段，如粗加工、半精加

工和精加工；同时选择合适的机床、刀具和夹具等工艺装备。工艺设计则侧重于将规划内容细化，编制工艺文件，包括工艺过程卡、工序卡等，明确各工序的具体操作步骤、加工参数和质量要求。科学合理的工艺规划与设计，能够有效提高生产效率，降低生产成本，保证产品质量的稳定性，为实现高效、优质的机械加工制造奠定坚实基础，也是企业提升市场竞争力的重要保障^[1]。

2 机械加工制造工艺的关键技术

2.1 切削技术

2.1.1 刀具材料与几何参数

刀具材料直接决定切削性能，常见刀具材料性能对比如表1所示。高速钢刀具韧性良好，适用于复杂形状刀具制造，如齿轮滚刀；硬质合金刀具硬度高、耐磨性强，在普通钢件切削中应用广泛，其切削速度可达高速钢刀具的3-5倍；陶瓷材料和超硬材料（立方氮化硼、金刚石）则在高温合金、钛合金等难加工材料切削中表现优异，可承受1200℃以上高温。

表1 常见刀具材料性能对比

刀具材料	硬度 (HRC)	硬度 (HRC)	主要应用领域
高速钢	62 - 67	550 - 600	复杂刀具制造
硬质合金	89 - 93	800 - 1000	普通钢件切削
硬质合金	89 - 93	800 - 1000	普通钢件切削
硬质合金	89 - 93	800 - 1000	普通钢件切削

2.1.2 高速切削与干式切削技术

高速切削技术凭借大幅提升的切削速度与进给速度，显著优化加工成效。在航空航天领域，铝合金薄壁件高速铣削时，切削速度可达3000m/min以上，加工效率较传统提升3-5倍，表面粗糙度Ra值能降至0.8μm以下，工件热变形控制在极小范围。这得益于高速切削时约80%的切削热被切屑迅速带走。干式切削技术优势明

显,在汽车零部件加工中,采用特殊涂层刀具与优化参数后,无需切削液,每年可减少废液处理量数十吨,成本降低超40%,同时保持Ra1.6 μm 的良好表面质量,成为绿色切削的重要发展方向。

2.1.3 难加工材料切削与复合加工技术

钛合金、高温合金等难加工材料,因其特殊物理化学性质,加工难题重重。例如,钛合金导热系数仅为45钢的1/5,切削温度易超1200 $^{\circ}\text{C}$,刀具磨损极快。采用涂层刀具可使刀具寿命延长50%,优化切削参数能降低切削力30%-40%。复合加工技术整合多种工艺优势,超声振动切削在硬脆材料加工时,可降低切削力50%-60%,提升表面质量;激光辅助切削用于高温合金加工,能使材料硬度降低30%,加工效率提高2-3倍,为高端制造业攻克材料加工难题提供有力支撑。

2.2 成型技术

2.2.1 铸造、锻造与压力加工

铸造、锻造与压力加工是机械成型的基础技术。据《中国铸造行业发展报告》显示,我国铸造行业年总产量连续多年位居世界首位,2023年达到5800万吨,其中砂型铸造占比超60%,广泛应用于汽车发动机缸体、机床床身等大型复杂零件制造。锻造技术方面,精密模锻件的尺寸精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$,能满足航空发动机叶片等高端零部件需求。压力加工中,液压成型技术可使汽车零部件重量减轻15%-20%,有效提升燃油经济性,目前在新能源汽车底盘制造中的应用比例已达35%。

2.2.2 焊接、胶接与热处理工艺

焊接、胶接与热处理工艺在机械连接与性能优化中不可或缺。在焊接领域,激光焊接技术以其0.2mm的最小焊缝宽度和20mm/min的焊接速度,广泛应用于电子器件、航空航天等领域,我国激光焊接设备市场规模年增长率超15%。胶接工艺可实现不同材质的无缝连接,在风电叶片制造中,胶接接头强度能达到本体材料的90%以上。热处理工艺通过改变材料组织结构提升性能,例如渗碳淬火处理后,齿轮表面硬度可从HRC20提升至HRC60,耐磨性提高3-5倍。

2.2.3 表面涂层与表面改性技术

表面涂层与表面改性技术能显著提升机械零件的性能。数据显示,采用热喷涂技术制备的陶瓷涂层,可使机械零件表面硬度达到HV1000-1500,耐磨损性能提高5-10倍,在石油化工泵阀中的应用使零件寿命延长2-3年。化学气相沉积(CVD)技术制备的硬质涂层,摩擦系数可降低至0.1-0.2,在模具制造领域应用后,模具使用寿命平均提升40%。表面改性技术中的离子注入,可使

金属材料表面耐腐蚀性提高2-3个数量级,在海洋工程装备中应用广泛。

2.3 自动化技术

2.3.1 传感器与检测技术

传感器与检测技术是自动化加工的“眼睛”。在尺寸检测方面,高精度激光位移传感器分辨率可达0.1 μm ,在手机外壳加工中,可实现微米级尺寸误差检测。工业视觉传感器市场发展迅速,我国2023年工业视觉市场规模达260亿元,同比增长22%,在汽车零部件装配检测中,缺陷识别准确率超过99%。压力传感器在注塑成型监控中,可实时监测0.1MPa的压力变化,有效提升产品合格率10%-15%。

2.3.2 数控系统与编程技术

数控系统与编程技术是自动化加工的核心。我国国产数控系统市场占有率逐年上升,2023年在中低端数控系统领域已达65%,华中数控、广州数控等品牌的五轴联动数控系统定位精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$ 。编程技术中,CAM软件的应用使编程效率提升30%-50%,例如NX CAM软件在复杂曲面加工编程时,可将编程时间从20小时缩短至8小时,显著提高加工效率。

2.3.3 机器人与自动化生产线

机器人与自动化生产线推动制造业向智能化迈进。据国际机器人联合会(IFR)数据,2023年我国工业机器人年安装量达39.7万台,占全球总安装量的52%,在汽车焊接生产线中,机器人自动化率已超90%,焊接质量稳定性提升25%。自动化生产线通过集成控制,使生产节拍缩短20%-30%,某3C产品自动化生产线投产后,产品不良率从5%降至1.2%,产能提升40%。

2.4 精密制造技术

2.4.1 超精密切削与微纳加工技术

超精密切削与微纳加工技术代表着制造精度的极限。超精密切削技术可实现Ra0.01 μm 的表面粗糙度,在光学镜片加工中,通过单点金刚石切削,面形精度可达 $\lambda/20$ ($\lambda = 632.8\text{nm}$)。微纳加工领域,我国在光刻技术上取得突破,28nm制程工艺已实现量产,纳米压印技术可制备特征尺寸小于100nm的微结构,在MEMS传感器制造中应用广泛,使传感器灵敏度提升30%以上^[2]。

2.4.2 光学研磨、抛光与离子束加工技术

光学研磨、抛光与离子束加工技术在光学元件制造中至关重要。光学研磨技术可将玻璃表面平面度控制在 $\lambda/10$ ($\lambda = 632.8\text{nm}$)以内,抛光后表面粗糙度Ra < 0.3nm。离子束加工技术通过离子束溅射,可实现亚纳米级材料去除,在反射镜加工中,面形精度可达 $\lambda/50$,表面

粗糙度 $Ra < 0.1\text{nm}$, 满足高端天文望远镜、光刻机等设备的光学需求。

2.4.3 三坐标测量与激光干涉测量技术

三坐标测量与激光干涉测量技术是精密制造的质量保障。三坐标测量仪的测量精度可达 $0.5\mu\text{m}$, 在航空发动机叶片检测中, 可完成复杂曲面的全尺寸检测, 检测效率比传统方法提升 40%。激光干涉测量技术分辨率可达 0.31nm , 在高精度丝杠螺距误差测量中, 测量不确定度优于 $0.1\mu\text{m}$, 为精密传动部件的质量控制提供可靠依据。

3 机械加工制造工艺面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 技术瓶颈与难题

在机械加工制造领域, 部分核心技术仍难以突破。精密加工方面, 纳米级甚至原子级的加工精度要求, 现有设备与工艺难以稳定实现, 限制了高端零部件制造水平; 复杂曲面加工技术不成熟, 在航空发动机叶片等精密零件加工中, 难以满足设计的高精度曲面要求。此外, 智能化加工技术发展滞后, 加工过程中的实时监测、自适应控制等技术尚未完全成熟, 导致加工质量不稳定, 难以实现高效、柔性化生产。

3.1.2 市场竞争与成本压力

全球制造业竞争激烈, 机械加工制造企业面临巨大压力。发达国家凭借技术优势占据高端市场, 发展中国家以低成本抢占中低端市场, 企业市场份额被挤压。同时, 原材料价格波动频繁, 人力成本不断上升, 而产品价格因竞争激烈难以提高, 利润空间持续压缩。企业研发投入大、回报周期长, 在资金紧张的情况下, 难以维持技术创新, 进一步加剧了市场竞争劣势。

3.1.3 环保与可持续发展要求

机械加工制造过程中的环境污染问题日益受到关注。切削液的使用产生大量废液, 其处理难度大、成本高, 若处理不当会对土壤和水源造成污染; 铸造、锻造等工艺产生的废气、废渣, 以及加工过程中的噪声污染, 均不符合环保标准。此外, 传统工艺资源利用率低, 大量原材料转化为废料, 难以满足可持续发展要

求, 企业面临巨大的环保升级压力。

3.2 应对策略

3.2.1 技术创新与研发投入

加大技术创新力度是突破技术瓶颈的关键。企业应联合高校、科研院所组建产学研联盟, 共同攻克精密加工、复杂曲面加工等核心技术难题, 研发具有自主知识产权的高端装备与工艺。同时, 持续增加研发投入, 设立专项基金用于智能化加工技术的研究, 推动实时监测、自适应控制等技术的应用落地, 提升加工过程的稳定性与柔性化水平。

3.2.2 优化生产管理与成本控制

优化生产管理可有效缓解市场竞争与成本压力。企业需引入先进的生产管理系统, 如 ERP (企业资源计划) 和 MES (制造执行系统), 实现生产流程的精细化管理, 提高生产效率, 降低生产周期。在成本控制方面, 通过与供应商建立长期稳定的合作关系, 实现原材料的集中采购, 降低采购成本; 同时, 优化人力资源配置, 加强员工技能培训, 提高劳动生产率^[1]。

结束语

机械加工制造工艺作为制造业的核心支柱, 其发展水平直接影响着国家工业实力。从基础理论到关键技术, 再到应对挑战的策略, 各环节紧密相连、相互促进。随着科技的不断进步, 机械加工制造工艺将朝着智能化、绿色化、精密化方向持续演进。未来, 通过持续的技术创新与跨领域融合, 攻克技术瓶颈, 优化生产管理, 践行绿色制造, 机械加工制造工艺必将为全球制造业的高质量发展注入强劲动力, 在更多高端领域发挥关键作用, 助力产业迈向新高度。

参考文献

- [1] 张华. 制造业智能制造的发展现状及展望[J]. 智能制造, 2020, 7(2): 150-157.
- [2] 陈明亮, 张三忠. 数字化制造的发展及其影响[J]. 现代制造工程, 2021, 48(6): 121-126.
- [3] 李志刚. 智能制造与绿色制造的融合发展[J]. 机械制造, 2021, 56(3): 187-188.